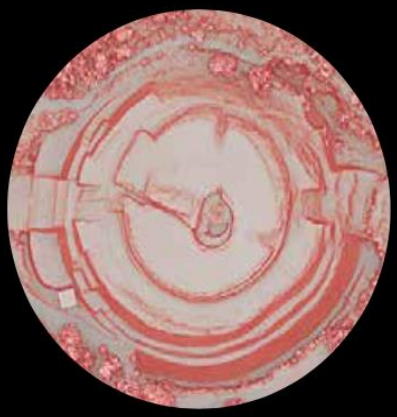
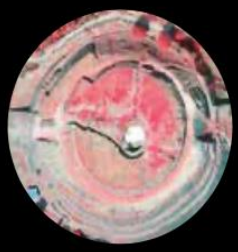
LA INNOVACIÓN EN EL MÉXICO PREHISPÁNICO:
métodos y técnicas para su estudio

JUDITH ZURITA NOGUERA
AGUSTÍN ORTIZ BUTRÓN
DIANA MARTÍNEZ YRÍZAR
editores





LA INNOVACIÓN EN EL MÉXICO PREHISPÁNICO:

MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA SU ESTUDIO

LA INNOVACIÓN EN EL MÉXICO PREHISPÁNICO:
MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA SU ESTUDIO

Judith Zurita Noguera
Agustín Ortiz Butrón
Diana Martínez Yrízar
editores

Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto de Investigaciones Antropológicas
México 2023

Primera edición impresa: 2023
Primera edición electrónica: 2023
Término de la edición:

© D.R. 2023 Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México, 04510
Instituto de Investigaciones Antropológicas
www.iia.unam.mx

ISBN digital:
ISBN impreso:

Portada: fotografía aérea de la pirámide de Cuicuilco, levantamiento fotogramétrico de Guillermo Acosta, puntos de control terrestre y procesamiento de la información de Javier López y Gerardo Jiménez; diseño de Wendy Chávez.

Todos los manuscritos presentados para su publicación por el Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM son sometidos a un riguroso proceso de dictaminación bajo el principio de doble ciego, conforme a los artículos 22 a 24 del Reglamento del Comité Editorial.
http://www.iia.unam.mx/instituto/transparencia/documentosIIA/reglamentoCE.pdf

Esta edición y sus características son propiedad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, la fotocopia o la grabación, sin la autorización escrita de los titulares de los derechos de esta edición.

Esta obra está a disposición bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.

Derechos reservados conforme a la ley.
Impreso y hecho en México / *Printed and made in Mexico*

Índice

Introducción 9
¿Qué es la innovación? 9
¿Cómo se estudia la innovación en Mesoamérica? 11

Sección I

El radiocarbono en la cronología de las innovaciones tecnológicas en Mesoamérica 19
Galia González Hernández y *Laura Beramendi Orosco*

Arqueozoología e innovación tecnológica 27
Bernardo Rodríguez Galicia y Raúl Valadez Azúa
La pesca mesoamericana como ejemplo de innovación tecnológica 30
La innovación tecnológica en el proceso de domesticación del guajolote 31
Los estudios arqueozoológicos y la innovación tecnológica 33

La innovación en la alimentación prehispánica: del *teosinte* al maíz y de una mazorca al maizal 35
Emily McClung de Tapia, Diana Martínez Yrízar, Carmen Cristina Adriano Morán, Emilio Ibarra Morales y Jorge Ezra Cruz Palma
San Gregorio Atlapulco, un asentamiento de cazadores-recolectores a la orilla del lago de Xochimilco 39
Altica: un sitio del Formativo temprano-medio en el norte de la cuenca de México 40

La agricultura intensiva y la innovación de sistemas agrícolas mesoamericanos 45
Judith Zurita Noguera
Los restos botánicos como evidencia de la intensificación en sistemas agrícolas 47
El maíz como principal cultivo mesoamericano 49
Sistemas agrícolas 51

La nixtamalización, importante innovación mesoamericana, y el estudio de residuos químicos en comales 55
Agustín Ortiz Butrón y Luis Barba Pingarrón
Inicios de la nixtamalización 58
La evidencia arqueológica 60

Sección II

Mesoamérica multiétnica 65
Blanca Zoila González Sobrino y Ana Julia Aguirre Samudio
¿Lo sabías? 67

Índice

La innovación del calendario mesoamericano en el ciclo de vida 73
Lilia Escorcia Hernández
La edad y el concepto del tiempo en el pensamiento occidental 73
La ontogenia en Mesoamérica 76

El juego de pelota, modalidad ulama de cadera 85
Matilde Espinosa Sánchez
Contexto histórico 85
Análisis del movimiento 86

Sección III

Tecnología de información geográfica en arqueología 95
Gerardo Jiménez Delgado y Javier López Mejía
La nueva revolución 102

El estudio de sitios arqueológicos desde la superficie.
Innovación en técnicas geofísicas y de percepción remota 107
Jorge Blancas Vázquez, Luis Barba Pingarrón y Agustín Ortiz Butrón
Metodología de la prospección geofísica para estudios arqueológicos 107
Evolución de las técnicas 108
Prospección con gradiente magnético 112
Prospección con georradar 114
Prospección eléctrica 115
Tomografía eléctrica 116
Resistencia electrostática 117
Percepción remota 118
Conclusiones 120

Los medios audiovisuales como recurso innovador para la investigación antropológica y el registro etnográfico en el trabajo de campo 123
Mario Alberto Castillo Hernández y Alejandro López Hernández
Laboratorio de Antropología Visual 126
¿Cómo se realizó? 126

Consideraciones finales 129

Introducción

¿Qué es la innovación?

La innovación es una acción de cambio que supone una novedad. Joseph Schumpeter (1939) la define como la incorporación de nuevos productos, procesos y materias primas. También habla de un proceso de cambio de tres etapas: la invención –la generación de nuevas ideas–, la innovación –el proceso de generación de innovación– y la difusión –mediante la cual las innovaciones se difunden (Arróspide *et al.* [coords.] 2017: 176).

La innovación se asocia con la idea de progreso y búsqueda de nuevos métodos, partiendo de los conocimientos que le anteceden, a fin de mejorar algo que ya existe, dar solución a un problema o facilitar una actividad. Es una acción continua a lo largo del tiempo, abarca diferentes campos del desarrollo humano y un proceso que consiste en idear y llevar a cabo la solución de un problema o una necesidad, que se difunde y mejora.

Las innovaciones tecnológicas de nuestro tiempo con gran impacto social, como el Internet, las cámaras digitales, la realidad virtual, la telefonía celular, la nanotecnología, los viajes al espacio, etcétera, han facilitado enormemente la vida de millones de personas. Hoy en día nos parecería imposible vivir sin ellas, en realidad en cada época las innovaciones se han adecuado a diferentes necesidades y precedieron a otras más en el tiempo: como la televisión, el automóvil, el cinematógrafo, el telégrafo, la luz eléctrica, la radio, etcétera; sin mencionar, además, avances en la ciencia de la medicina, como el ultrasonido, las tomografías computarizadas y los rayos X, que siguieron a avances gigantescos, como el descubrimiento de la penicilina o las vacunas contra la rabia y otras enfermedades mortales. Estas innovaciones no sólo se han usado para el bienestar de las personas sino también para su aniquilación, por ejemplo, el perfeccionamiento de armas que van desde el arco y la flecha hasta las de destrucción masiva, como las bombas atómicas usadas en Hiroshima y Nagasaki.

En ese orden de ideas, en Mesoamérica prehispánica las innovaciones a lo largo del tiempo llevaron a una mayor complejidad tanto biológica de las plantas cultivadas

y animales domesticados como cultural en ámbitos tan diversos como la subsistencia, la política, la economía, el arte, la tecnología, la vida cotidiana y la religión, entre otros. Desde esta perspectiva las sociedades humanas del pasado plasmaron algunas de estas innovaciones en cada una de sus actividades y aún hoy son evidentes tanto en las tradiciones como en sus costumbres.

Con el nombre de Mesoamérica (figura 1) se designa la gran área cultural que ocupó la mayor parte de nuestro país en la época prehispánica, poblada por diversas culturas, las cuales, a lo largo del tiempo, hicieron descubrimientos e invenciones. Éstos se compartieron entre los grupos contemporáneos que estaban en contacto, los cuales a su vez las perfeccionaron y transmitieron a las siguientes generaciones. Ejemplo de ello son los alimentos que comemos diariamente hoy en día: maíz, frijol, chile, calabaza y otros vegetales, básicamente preparados de la misma manera que en el pasado, sólo que procesados con instrumentos derivados de la innovación en nuestro tiempo.

Estas innovaciones son estudiadas por la arqueología que se ocupa de investigar a las sociedades humanas ya desaparecidas a través de sus restos materiales, los cuales

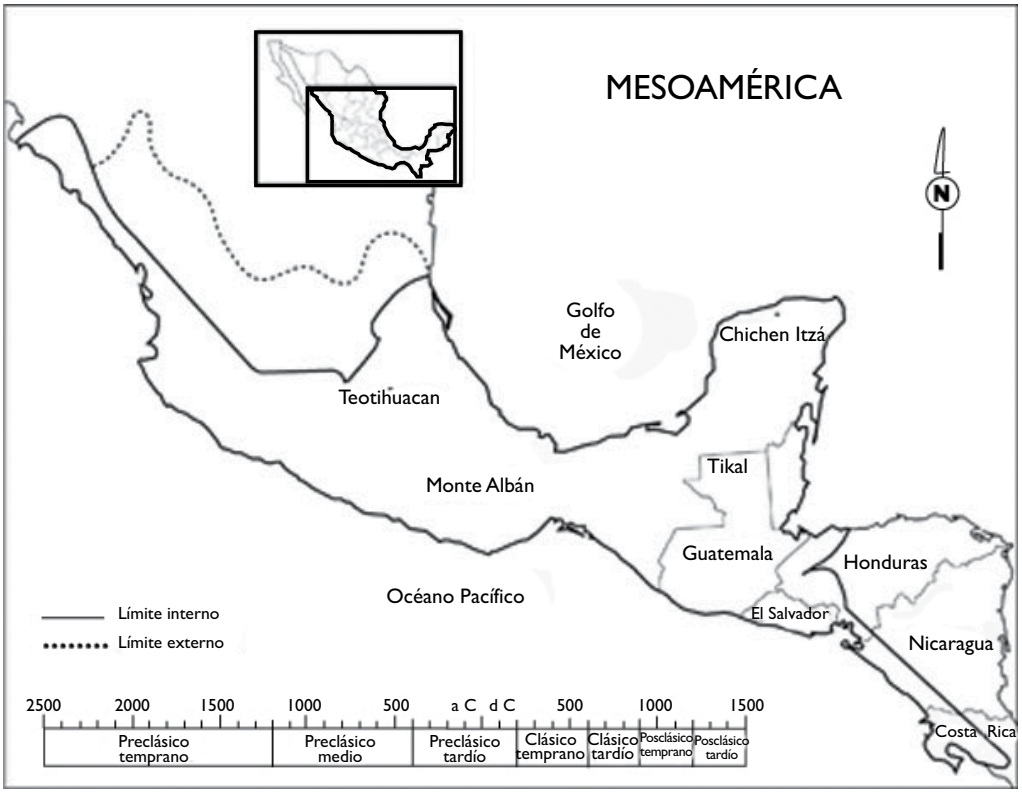


Figura 1. Mapa de Mesoamérica (elaborado por César Fernández).

pueden ser desde grandes edificios, formas cerámicas, instrumentos de piedra, hasta restos microscópicos de plantas y residuos químicos, por mencionar algunos. Todo ello permite al arqueólogo analizar e interpretar diversos aspectos de la vida de las antiguas sociedades, como son la subsistencia y dieta, sistemas agrícolas, domesticación vegetal y animal, actividades artesanales, el uso de recursos naturales, manufactura de instrumentos, vestido, construcción, medicinas, intercambio, costumbres funerarias, ceremonias y rituales, entre otros. Toda esta información permite caracterizar la forma de vida de una población.

En la actualidad se aplican métodos y técnicas de otras ciencias a proyectos de investigación arqueológica con enfoques multi- e interdisciplinarios. Esta perspectiva permite una visión integral de las actividades humanas. La incorporación de especialistas de otras disciplinas, como la química, física, genética, biología y las ciencias de la tierra, permite la interpretación de los datos obtenidos en el contexto arqueológico para lograr una mejor comprensión de las sociedades del pasado. Ello implica el análisis de los resultados en asociación con otros materiales recuperados de manera interdisciplinaria, combinándolos con la información arqueológica relativa a la estratigrafía general del sitio y del contexto particular de la estructura donde se recuperó el material.

¿Cómo se estudia la innovación en Mesoamérica?

El Instituto de Investigaciones Antropológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) cuenta con un Sistema Integrado de Laboratorios que ha tenido que adecuar e innovar metodologías y técnicas, tanto de la antropología como de otras ciencias, para entender la complejidad y diversidad cultural mesoamericana. Los laboratorios que participan en este trabajo son: Antropología Forense, Antropología Genética, Antropología Visual, Análisis de Fitolitos, Análisis Espacial y Digital, Biomecánica Deportiva, Paleoetnobotánica y Paleoambiente, Paleozoología, Prospección Arqueológica y Universitario de Radiocarbono.

En este libro se presentan diversos ejemplos de cómo se estudian algunas de las más importantes innovaciones realizadas en México desde la época prehispánica hasta la conquista española, asimismo se muestran las innovaciones metodológicas y técnicas más recientes para la investigación antropológica que permiten estudiarlas.

I. En una primera sección se presentan estudios abocados a la ubicación cronológica –a partir de la física y química–, subsistencia de las poblaciones que habitaron Mesoamérica –biología y química–, donde se muestran ejemplos del desarrollo de innovaciones que permitieron el asentamiento de estas poblaciones.

Las innovaciones culturales se estudian por medio de diversas metodologías, sin embargo, es importante ubicarlas en el tiempo. En el primer capítulo, Galia Gon-

zález y Laura Beramendi muestran el método de datación por radiocarbono, el cual permite fechar eventos y objetos de los últimos 50 mil años. Fue propuesto por Libby a finales de la década de 1940 y en los últimos 70 años el avance tecnológico de este método es notable, por ello ahora es posible datar muestras pequeñas como polen, fitolitos, pigmentos orgánicos, semillas, madera no carbonizada, concha y huesos, entre otros. Esta metodología ha permitido establecer la cronología de las innovaciones relacionadas con eventos como la recolección, almacenaje, cocción, preparación de alimentos, nixtamalización y los utensilios relacionados con el proceso, entre otros. Dichas cronologías se generan a partir de la datación de varias muestras relacionadas entre sí, para ir dando orden cronológico a los hechos ocurridos en el pasado.

En el capítulo de Bernardo Rodríguez y Raúl Valadez se muestra como la arqueozoología estudia la relación humanos-fauna, así como el origen y domesticación de los animales –perro y guajolote–, su aprovechamiento, procesamiento y conservación, por medio del análisis de los restos óseos y las alteraciones resultado de procesos como cocción, ahumado, salado de pescado, entre otros, al igual que su aprovechamiento como materia prima para fabricar herramientas y otros objetos. Otra línea de investigación son los estudios de paleonutrición a partir de elementos traza con técnicas de PIXE y XRF. Así mismo, se han logrado caracterizar al menos cinco razas de perros prehispánicos.

En este orden de ideas, en cuanto al uso y aprovechamiento de recursos vegetales, una de las innovaciones más importantes es el proceso de domesticación del maíz, frijol, calabaza y de otras plantas que han formado la base de la alimentación desde épocas muy tempranas, a partir de la cual se desarrollaron técnicas agrícolas y procesos de preparación como la nixtamalización del maíz, que lo hacen más eficiente para el consumo humano. En el capítulo de Emily McClung y otros autores se hace referencia a los estudios paloetnobotánicos –relación humanos-plantas– usando como evidencia el material botánico recuperado de sitios arqueológicos, tal como semillas, madera, polen, fitolitos y gránulos de almidón. Se presentan como ejemplo investigaciones realizadas en dos sitios en la cuenca de México –San Gregorio Atlapulco y Altica– que permiten mostrar este proceso; es importante resaltar que, en el sitio de Altica, además de la evidencia del consumo de maíz, frijol y chile, se cuenta con la presencia de tubérculos, como el ñame y camote, para el periodo Formativo temprano-medio como parte integral de la alimentación.

En el capítulo de Judith Zurita se hace hincapié en que, una vez que las plantas se domesticaron, se desarrollaron sistemas agrícolas en Mesoamérica para la explotación de estos recursos de manera eficiente. Esto implicó innovaciones tanto en las técnicas del trabajo de la tierra como en las herramientas usadas para su preparación, siembra y cosecha, además de asegurar, por medio del regadío, la disponibilidad de agua necesaria para los sembradíos, lo cual dependía de los requerimientos y características del ciclo agrícola del principal cultivo –maíz–. Otros recursos vegetales, como frijol,

calabaza y amaranto, se sembraban en los campos de cultivo en diferentes momentos de este ciclo, para complementar los recursos necesarios en la dieta mesoamericana. Asimismo, se presenta la alternativa de otros cultivos como alimento básico.

El capítulo de Agustín Ortiz y Luis Barba trata sobre la importancia que tuvo la innovación de la nixtamalización en Mesoamérica, así como la manera de estudiarla a partir de la investigación de una forma cerámica específica: los comales. En sí misma, la elaboración de la cerámica fue una de las innovaciones fundamentales de las sociedades del pasado. A partir de ella fue posible almacenar, transportar, conservar y transformar los alimentos. Hoy en día, para poder determinar la funcionalidad de esas cerámicas del pasado, es necesario realizar la extracción de los residuos químicos que han quedado atrapados en sus poros. Una forma cerámica que se ha usado desde época prehispánica hasta nuestros días ha sido el comal y, contrario a lo que se cree, no siempre fueron usados para la preparación de tortillas, ya que los estudios indican que en sus inicios se utilizaron para asar –aves y peces– o tostar semillas e insectos en épocas tempranas y no es sino hasta el periodo Posclásico, a partir de la innovación de la nixtamalización del maíz, que al agregarle cal o ceniza lograron incrementar el calcio y los aminoácidos esenciales para su dieta, lo que finalmente permitió dar plasticidad a la masa para la preparación de tortillas y otros alimentos de maíz.

II. En la segunda sección se presentan estudios de antropología física que permiten conocer las características anatómicas y genéticas de las diferentes poblaciones. El capítulo de Blanca Zoila González y Ana Julia Aguirre habla de cómo, con base en la aplicación de los estudios genéticos en antropología, se ha podido conocer las relaciones de parentesco a partir del ADN antiguo, obtenido de restos óseos de distintos sitios arqueológicos, tal es el caso de Teotihuacan donde se pudieron detectar las relaciones entre los pobladores de la ciudad con grupos mayas y oaxaqueños. Esto permitió entender los movimientos poblacionales tanto al interior como al exterior, hacia otras regiones de México, durante el auge de la ciudad.

El capítulo de Lilia Escorcia trata de cómo la innovación del calendario en Mesoamérica permitió el desarrollo de la concepción del ciclo vital humano de los antiguos pobladores, pudiendo determinar su edad biológica y cronológica. La antropología física propone a la ontogenia como método que mide y valora la evolución en su expresión biológica por medio del estudio de restos óseos y, por otra parte, a partir de la concepción del tiempo mesoamericano se registra y computa la edad de las personas desde su nacimiento, es decir, su edad cronológica. El concepto del tiempo calendárico en Mesoamérica se comparte a pesar de la diversidad cultural. Se concibe el tiempo de manera cíclica y con semejanza simbólica en todas las regiones que la componen, lo que influye en las fiestas y ceremonias realizadas alrededor del ciclo agrícola en nuestros días.

En su capítulo, Matilde Espinosa, analiza el movimiento del cuerpo humano, las cargas y energía que se producen por dicho movimiento durante la práctica, a partir

de la biomecánica deportiva, con el objetivo de mejorar el rendimiento del deportista y desarrollar técnicas de entrenamiento, utilizando cámaras de video. Este tipo de técnicas permite estudiar y entender actividades del pasado, como, por ejemplo, el juego de pelota que se presenta en este capítulo y que sabemos se practicó desde el periodo Preclásico. Las fuentes históricas mencionan que se celebraba en ceremonias y festividades relacionadas con la idea de la renovación de la vida, la dualidad vida-muerte, luz-obscuridad y fertilidad agrícola. Fue un rasgo cultural que se compartió en toda Mesoamérica en tres modalidades: cadera, brazo y bastón o mazo.

III. En la última sección se presentan adecuaciones metodológicas que permiten estudiar sociedades pretéritas mediante técnicas de las ciencias de la tierra, así como estudios etnográficos a partir de medios audiovisuales.

El capítulo de Gerardo Jiménez y Javier López trata de cómo la fotografía aérea abrió una nueva perspectiva de investigación, que se convirtió en un paso esencial en el desarrollo de cualquier proyecto arqueológico para la localización y registro de evidencia de asentamientos humanos en una región. Con el avance tecnológico de este campo se ha llegado a aplicaciones donde se estudian los sitios y regiones adyacentes con fotografía satelital, vehículos no tripulados (VANT) y LiDAR con gran nitidez y precisión, llegando a generar modelos digitales de elevación; que permiten localizar y caracterizar los sitios arqueológicos cubiertos por la vegetación.

En el capítulo de Jorge Blancas, Luis Barba y Agustín Ortiz se expone una metodología innovadora a partir de técnicas de prospección geofísica que, utilizadas de manera ordenada y lógica, pueden medir sobre la superficie y sin alterar el terreno las propiedades físicas de los materiales arqueológicos enterrados. Dentro de estas técnicas destacan las de gradiente magnético, electromagnéticas –georradar–, eléctricas –resistividad eléctrica y tomografía eléctrica–, resistencia electrostática y percepción remota con imágenes multiespectrales, que constituyen técnicas necesarias para la arqueología, ya que permiten conocer la naturaleza, profundidad y forma de las estructuras enterradas, para una mejor selección de las áreas de estudio, favoreciendo la efectividad del trabajo arqueológico, a la vez que se reduce el tiempo y costo de la excavación.

Por último, en el capítulo de Mario Alberto Castillo y Alejandro López se habla de cómo la antropología visual permite estudiar y registrar los fenómenos culturales a través de los medios audiovisuales. Éstos refuerzan los distintos campos de la investigación antropológica por medio del estudio de la imagen y ayudan a explicarlos. El análisis del dato audiovisual provee de información tanto de la cultura como de la mirada del "otro". El registro en imágenes del trabajo del antropólogo se puede expresar en un documental, que permite además mostrar y conservar el testimonio directo de los entrevistados durante el trabajo de campo.

Esta obra presenta un panorama general de lo que fue la innovación en Mesoamérica. Dado que es una obra de difusión y divulgación, sólo pretende mencionar

algunas de las innovaciones culturales, así como la metodología y técnicas con las que cuenta la antropología para su estudio. Conocer de dónde venimos nos permite apreciar y valorar nuestra herencia cultural y vislumbrar hacia dónde vamos.

Judith Zurita Noguera, Agustín Ortiz Butrón y Diana Martínez Yrízar
Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM

Referencias

Arróspide Eizagirre, Juan José, Cristina Martínez-Taboada Kutz y José Francisco Morales Domínguez (coords.)

2017 *Innovación, transparencia y comunicación en grupos y organizaciones. Influencia de las aportaciones teóricas y metodológicas de Sabino Ayestarán*, Sanz y Torres, Madrid.

Schumpeter, Joseph Alois

1939 *Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process*, McGraw-Hill, Nueva York.

Sección I

El radiocarbono en la cronología de las innovaciones tecnológicas en Mesoamérica

Galia González Hernández*
Laura Beramendi Orosco**

Ubicar temporalmente el momento en el que se dieron las innovaciones tecnológicas en Mesoamérica puede ser resuelto en gran medida si se emplea el método de datación por radiocarbono. A partir de la datación directa de los artefactos tecnológicos o de muestras asociadas en los contextos donde se hallan estos objetos es posible determinar el momento de su manufactura y uso. Así sabemos cuándo aparecieron las civilizaciones modernas, los instrumentos y herramientas utilitarias, como puntas de lanzas, hachas, entre otros, y la evolución de los mismos, la domesticación de plantas y animales, la invención de la cerámica y sus diferentes etapas y variantes, la evolución en las estructuras constructivas, la fabricación y evolución de instrumentos musicales –como flautas–, entre una infinidad de vestigios arqueológicos relacionados con múltiples áreas de la vida cultural del pasado.

El Laboratorio Universitario de Radiocarbono (LUR), que pertenece también al Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM) de la UNAM, desde su creación, hace más de 15 años, se ha involucrado en diferentes proyectos de investigación arqueológica para establecer la cronología de los sitios estudiados. En muchas ocasiones estas cronologías tienen relación con procesos o etapas de innovación tecnológica.

Con el método de datación por radiocarbono o carbono-14 (^{14}C) podemos fechar eventos y objetos de los últimos 50 000 o 60 000 años. Este método, propuesto por

* Instituto de Geofísica, UNAM.
** Instituto de Geología, UNAM, Laboratorio Universitario de Radiocarbono (LUR), Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM), Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.

el científico Willard Frank Libby y su grupo de trabajo de la Universidad de Chicago en EUA, surgió a finales de la década de 1940 y permitió estimar las primeras edades numéricas de artefactos y sitios arqueológicos (Libby 1955).

Saber la edad de las muestras orgánicas mediante este método es posible porque todos los seres vivos estamos formados por millones de átomos de carbono, que existen en tres tipos diferentes: el carbono-12, el carbono-13 y el carbono-14, los cuales se asimilan por la fotosíntesis, en el caso de las plantas, y por la cadena alimenticia, en el caso del resto de los organismos. De estos tres tipos de carbono, sólo el ^{14}C es radiactivo –se transforma espontáneamente en otro átomo no radiactivo, el nitrógeno-14, emitiendo un tipo de energía que conocemos como radiación–. Mientras los organismos están vivos, la proporción de los tres tipos de átomos de carbono es constante y la misma que hay en la atmósfera, pero cuando los organismos mueren y cesa el intercambio de átomos de C con la atmósfera, la concentración de átomos de ^{14}C comienza a disminuir a una velocidad constante y conocida, a una tasa tal que después de 5 730 ± 40 años la mitad de los átomos de ^{14}C habrán decaído (Godwin 1962). Por lo que si logramos determinar cuánto ^{14}C le queda a una muestra que alguna vez estuvo viva, podemos saber cuánto tiempo ha transcurrido desde el evento de la muerte (figura 1).

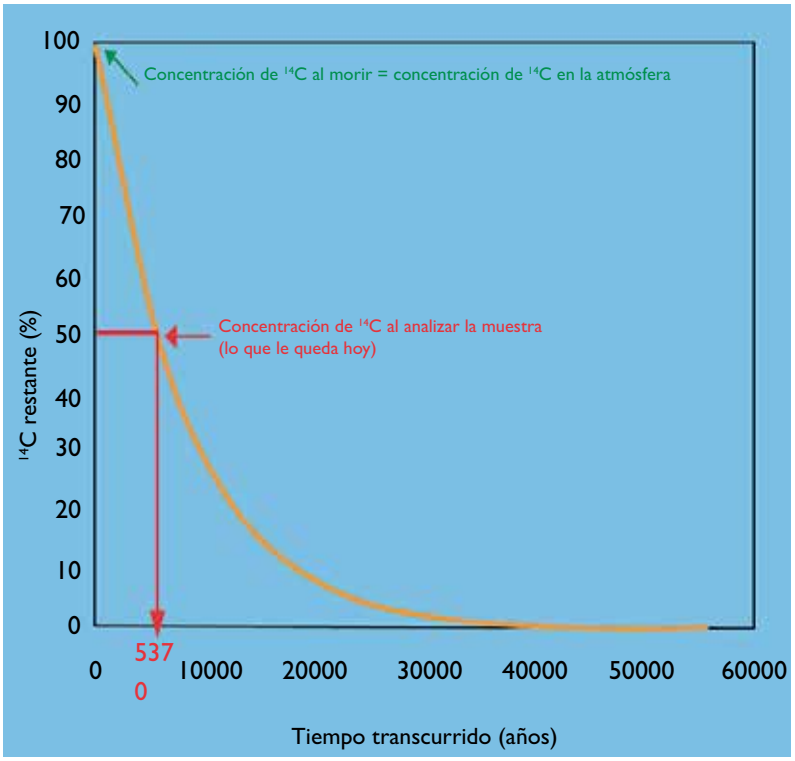


Figura 1. Gráfica del decaimiento radioactivo del ^{14}C (imagen del Laboratorio Universitario de Radiocarbono).

Con el método de radiocarbono se puede datar restos de plantas, como madera no carbonizada, carbón, semillas, fibras y hojas; restos de animales, como huesos, tejidos, dientes y conchas; artefactos u objetos confeccionados a partir de organismos, como textiles, papel, canastos, cuero, ceras, corchos, agujas, pigmentos vegetales, entre muchos otros. Como ya mencionamos, otro requisito es que las muestras que se analicen hayan vivido dentro de los últimos 50 000 años, porque las que hayan muerto antes de este tiempo ya habrán perdido todo el ^{14}C que contenían (figura 2).

En el LUR el primer paso para estimar la edad de las muestras es eliminar cualquier tipo de material que no haya formado parte del organismo mientras estaba vivo (Taylor 1987); una vez limpia la muestra, la transformamos en un líquido llamado

Figura 2. A) Tipos de muestras; B) limpieza física y química de las muestras (fotografías del Laboratorio Universitario de Radiocarbono).

benceno, el cual analizamos en un espectrómetro de centelleo líquido para determinar su contenido de ^{14}C (figura 3). Finalmente, conociendo la cantidad de ^{14}C que tiene la muestra al analizarla, más la cantidad inicial, que es la que hay en la atmósfera y la velocidad a la que se transforma el ^{14}C, podemos calcular cuánto tiempo ha pasado desde que dicho organismo murió, obteniendo con ello su edad.

Por otro lado, el quehacer del laboratorio está estrechamente vinculado con la innovación tecnológica gracias a la aportación y desarrollo de nuevas metodologías de análisis para el procesamiento de nuevos tipos de muestras de matrices orgánicas; para la interpretación y tratamiento de los resultados; para la obtención de nuevos tipos de muestras, entre otras innovaciones metodológicas.

En los últimos 70 años es notable el avance tecnológico de este método que ha pasado de antiguos contadores a espectrómetros de centelleo líquido y de masas con aceleradores que nos permiten determinar las concentraciones más bajas de ^{14}C que contienen las muestras analizadas con un gran nivel de precisión. Esta nueva facilidad analítica ha abierto el abanico de posibilidades en cuanto al tipo de muestras que pueden ser fechadas, como por ejemplo, el polen, los fitolitos y los pigmentos orgánicos, que por encontrarse en cantidades extremadamente pequeñas no formaban parte del material con potencial para la datación. Esta nueva y sofisticada instrumen-

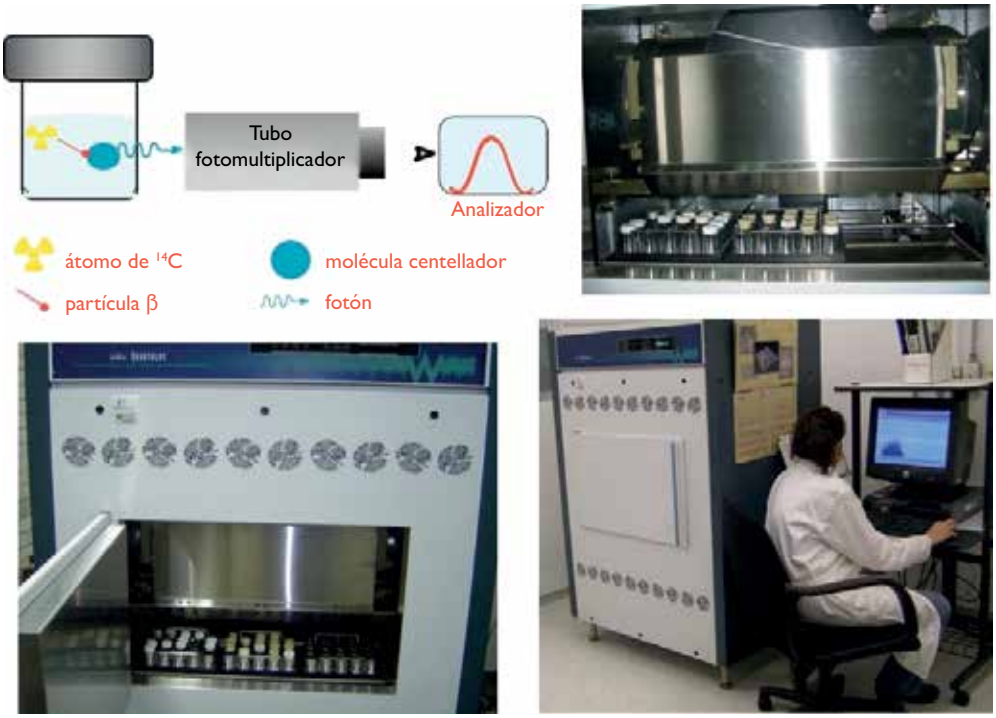


Figura 3. Espectrómetro de centelleo líquido Quantulus 1220 (fotografías del Laboratorio Universitario de Radiocarbono).

tación ha permitido fechar muestras muy pequeñas, relacionadas directamente con contextos que involucran innovación tecnológica en la alimentación, como el polen, los granos o semillas de maíz, girasol, amaranto, calabaza, jitomate y frijol, particularmente con la domesticación de estas plantas y de animales, como los perros y los guajolotes; además de que ha abierto la posibilidad, no solamente de reajustar varias edades obtenidas por radiocarbono, sino de analizar muchas muestras de contextos excavados con anterioridad y que no habían podido ser analizadas por este método (González-Hernández *et al.* 2017).

El método de datación por ^{14}C ha permitido establecer cronologías de las innovaciones tecnológicas en Mesoamérica relacionadas con la recolección, almacenaje, cocción y preparación de los alimentos; con la nixtamalización y con los utensilios relacionados con el proceso; innovaciones tecnológicas agrícolas relacionadas con el aprovechamiento de las plantas, con el abasto doméstico del agua o para irrigación agrícola por medio del fechamiento de vestigios arqueológicos de obras hidráulicas, como acueductos. Estas cronologías también consideran los procesos de transferencia tecnológica espacial y temporal y se generan a partir del fechamiento de varias muestras constituidas por micro- y macrorrestos de origen orgánico relacionados entre sí, de un mismo o varios contextos arqueológicos. La edad radiocarbónica obtenida se correlaciona con otros datos e información de los contextos arqueológicos estudiados, para así dar un orden cronológico a los eventos ocurridos en el pasado.

En el LUR se ha logrado establecer exitosamente un modelo cronológico de edades radiocarbónicas para el sitio arqueológico de Teopancazco, ubicado en Teotihuacan (Beramendi *et al.* 2012). La cronología obtenida está estrechamente relacionada con las tecnologías constructivas empleadas en el sitio para el periodo de 200 a 550 años calibrados dC. Las 31 edades radiocarbónicas de muestras de carbón, provenientes de diferentes elementos constructivos, como vigas, pilastras y morillos encontrados sobre los pisos de los cuartos y patios del centro de barrio de Teopancazco, mostraron el reúso de las grandes vigas de madera, empleadas en la construcción de la ocupación más temprana –Tlamimilolpa– y encontradas junto con el resto de los techos colapsados de la ocupación más tardía –Xolalpan tardío– con lo que se evidencia el aprovechamiento de los recursos y se puede inferir la duración de los estilos constructivos de los techos a lo largo de las diferentes ocupaciones.

De igual manera, la cronología radiocarbónica de Teopancazco se relaciona significativamente con la evolución tecnológica de la cerámica teotihuacana, expresada en su tipología –formas, color, texturas, decoraciones, etcétera–. Las 31 edades de radiocarbono se agruparon, de acuerdo con la cerámica asociada con cada muestra, en cuatro grupos correspondientes con tres ocupaciones y una transición (figura 4). Esta relación permitió esclarecer el orden temporal y duración de las etapas constructivas, así como robustecer la cronología existente para la cerámica.

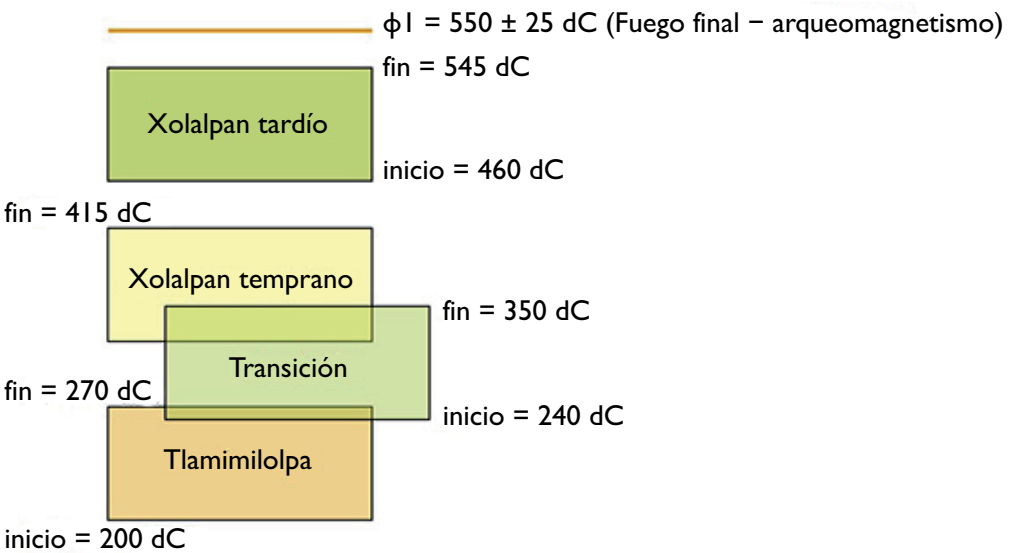


Figura 4. Modelo cronológico radiocarbónico para Teopancazco, Teotihuacan (Beramendi 2012).

El método de datación por radiocarbono ha demostrado ser una herramienta imprescindible para establecer un orden cronológico confiable de las innovaciones y avances tecnológicos y así lograr una mejor comprensión del proceso evolutivo de la vida de los seres humanos en Mesoamérica.

Referencias

Beramendi Orosco, Laura E., Galia González Hernández, Ana M. Soler Arechalde

2012 "Cronología para Teopancazco: integración de datos arqueomagnéticos a un modelo bayesiano de radiocarbono", en Linda R. Manzanilla Naim (ed.), *Estudios arqueométricos del centro de barrio de Teopancazco en Teotihuacan*, Coordinación de la Investigación Científica-Coordinación de Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México, México: 111-134.

Godwin, H.

1962 "Half-life of Radiocarbon", *Nature*, 195 (4 845): 984.

González Hernández, Galia, Laura Beramendi Orosco y Guillermo Acosta Ochoa

2017 "Desenterrando el tiempo con radiocarbono", en Agustín Ortiz Butrón (ed.), *Las ciencias aplicadas al estudio del patrimonio cultural*, Red de Ciencias Aplicadas a la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural, Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología-

Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México: 199-222.

Libby, Willard F.
1955 *Radiocarbon dating*, Chicago University Press, Chicago.

Taylor, R. E.
1987 *Radiocarbon dating. An archaeological perspective*, Academic Press, Londres.

Arqueozoología e innovación tecnológica

Bernardo Rodríguez Galicia y Raúl Valadez Azúa*

En antropología, los estudios sobre técnicas y tecnologías se centran, principalmente, en un principio de causalidad, el cual sitúa la relación entre el hombre y la materia como un acto de "producción"; así, construir algo connota una actividad técnica o le da sentido. Desde esta perspectiva, los esfuerzos por describir y analizar fenómenos técnicos se centran particularmente en los procesos y sistemas de producción, para comprender, por un lado, cómo los principios químicos y físicos se articulan entre sí para dar "vida" a objetos, conjuntos de objetos o maquinarias; por otro, desde la antropología, esta ciencia busca comprender la relación que existe entre los principios sociales, los culturales y los fenómenos de desarrollo tecnológico (Mura 2011). Apoyados en la premisa anterior, se puede establecer que la actividad humana, vista desde un enfoque de la producción de bienes, vierte sus esfuerzos en entender (*ibidem*):

- La materialización de las técnicas como una "cultura material", es decir, como un conjunto de objetos que nos informaría y estaría sustentado por características que son, hasta cierto punto, externas a la sustancia que los compone.
- La formación de una dicotomía entre la naturaleza y el hombre, es decir, la producción de un objeto como "cultura material", que representa así la transición de "natural" a "cultural".
- La idea de colectividad, vista como conjuntos de sistemas en la naturaleza, estaría compuesta por elementos relacionados entre sí por factores ecológicos, mientras que el hombre sería la expresión de una sociedad, una cultura, un sistema simbólico, una representación mental, etcétera.

* Laboratorio de Paleozoología, Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.

Así, en la actualidad son muchos los parámetros que nos permiten inferir sobre el uso y aprovechamiento de los recursos fáunicos: el empleo de sistemas computacionales, datos analizados en procesadores de texto y estadísticos, lámparas de luz nocturna que permiten dar seguimiento a las actividades de algunos vertebrados silvestres durante la noche en su ambiente natural, métodos de caza, pesca o recolección, etcétera; son, sin duda, el resultado de la utilización de nuevas tecnologías que permiten esclarecer o mínimamente inferir cómo las sociedades prístinas usaron y aprovecharon a los animales.

Ciertamente la caza, la pesca y la recolección se reconocen como los primeros indicios del uso y aprovechamiento de la fauna y, en general, de los recursos naturales; sin embargo, también hay que reconocer que muchas de estas actividades se han preservado con el paso de los siglos, tanto es así que el uso de las redes de pesca, por ejemplo, se sigue dando muy probablemente como se hacía en el pasado, por lo que en la actualidad podemos observar, sobre todo en las comunidades pesqueras de las costas y aguas continentales, el uso de estas tecnologías sin grandes cambios. Lo anterior es muy importante para quienes nos dedicamos al análisis arqueozoológico, pues el Laboratorio de Paleozoología del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM realiza diferentes tipos de estudios etnozoológicos y arqueozoológicos que incluyen herramientas de innovación tecnológica, las cuales permiten una mejor interpretación del uso y aprovechamiento de la fauna local y foránea para, en medida de lo posible, enfocar los esfuerzos en conocer la relación hombre-fauna a partir de las fuentes coloniales escritas, censos o estudios de poblaciones biológicas actuales y en estudios etnohistóricos que mencionen el aprovechamiento de los animales disponibles en las comunidades humanas del pasado. Para ello se emplean nuevas e innovadoras tecnologías computacionales y de preparación de muestras que permiten analizar los restos animales que se encuentran en el contexto arqueológico.

Desde la perspectiva cultural, la innovación tecnológica se refiere a la creación de un nuevo producto o servicio dirigido a un sector de la población consumidora, así como a muchos otros núcleos que también son importantes dentro de una sociedad activa: artesanos, comerciantes, agricultores, cazadores, pescadores, recolectores, guerreros, etcétera. A partir de lo anterior, la innovación tecnológica permite ofrecer nuevos productos y servicios locales o foráneos, que repercuten en la conformación de nuevos procesos productivos útiles para la sociedad.

Por otro lado, la arqueozoología, como rama de la arqueología y la zoología, es la encargada de la identificación anatómica y taxonómica de los restos animales encontrados dentro de un contexto arqueológico, busca conocer qué tecnología permitió a las culturas del pasado el uso y aprovechamiento de los recursos fáunicos, es decir, aborda el aspecto socioeconómico y cultural del uso que las sociedades humanas extintas hicieron de los animales.

Con base en lo anterior, la innovación tecnológica es un concepto que engloba un gran número de elementos y acciones efectuadas por el hombre que incluyen a los animales en infinidad de tareas que involucran su aprovechamiento como recurso natural. Ciertamente, en la investigación arqueozoológica se trabaja constantemente en tratar de identificar huellas en una herramienta –por ejemplo, en un hueso trabajado–, buscando o tratando de detectar los bordes activos de su uso en la forma de una punta, bisel, espátula o "punta roma", entre otras. Si tomamos en consideración lo anterior, entonces el arqueozoólogo busca en un resto animal, generalmente hueso, concha o diente, la intensidad del trabajo y el producto final (figura 1). El proceso realizado puede ser observado a partir de lo brillante o pulido que se encuentre el elemento analizado –pieza–, las incisiones que quedan en él, los hundimientos, piqueteos, golpeteos, etcétera.

Como menciona Gilberto Pérez (comunicación personal):

> Existen dos tipos de herramientas: las muy bien elaboradas en forma y las que sólo son el resultado de fracturas en el hueso, de éstas se aprovecha la superficie plana, cortante o la forma espatulada. La gran complejidad del estudio de las huellas de uso es que están sumadas, por lo general, a las actividades de manufactura o subsistencia.

Figura 1. Dientes trabajados. Su calidad en la manufactura es un ejemplo de innovación tecnológica de primer orden (fotografía de Rafael Reyes).

Sin duda, esta premisa deja de manifiesto que existió una natural e instintiva iniciativa hacia la innovación tecnológica en las sociedades humanas del pasado al usar y trabajar material óseo, concha, dientes y otros elementos que no sólo estaban relacionados con la fauna, sino también con productos del ambiente natural que les rodeaba, biológico o mineral, de los cuales sacaban el mejor de los beneficios.

La pesca mesoamericana como ejemplo de innovación tecnológica

En términos generales, la pesca es el conjunto de técnicas y actividades para capturar peces, moluscos, crustáceos y otros animales que se encuentran en el mar o en las aguas continentales. Aun así, hay que señalar que existe una línea muy delgada entre la actividad pesquera, la cacería y la recolección, lo cual hace que hoy en día este término sea muy impreciso. Podemos encontrar técnicas de pesca que parecen ser más de cacería o de recolección; por ejemplo, el uso del arpón por un buzo cuando se zambulle para "pescar un tiburón", que bien se pudiera definir como "un tiburón cazado" Mediante los estudios arqueozoológicos podemos saber cómo el hombre prehispánico usó y aprovechó la innovación tecnológica en los recursos pesqueros, cómo se llevó a cabo la captura de peces con diferentes tipos de redes, anzuelos, lanzas, fisgas, trampas y otros instrumentos. Al respecto, la página electrónica *El Mundo* publicó en 2011:

> El hallazgo de una gran variedad de utensilios de pesca y caza marina, de hace unos 13 000 años, encontrados en las islas del Canal del Norte de California, ha revelado la gran variedad de animales marinos que comían los humanos de finales del Paleolítico, así como la sofisticada industria pesquera que fueron capaces de fabricar.

Así, los pescadores fueron desarrollando una gran cantidad de tipos de anzuelos elaborados con diversos materiales, desde las espinas de algunos arbustos, rocas talladas, hasta los de concha y hueso, dejando al descubierto innovaciones tecnológicas de primer orden (figura 2).

La humanidad ha tenido que luchar a lo largo de toda su historia por asegurar a todos los individuos un nivel adecuado de alimentación. La evolución de las modalidades de vida y el progreso socioeconómico de la industria pesquera, por ejemplo, se deben, en buena medida, al desarrollo de nuevas tecnologías de pesca y preservación. Así, por ejemplo, para transportar el producto pesquero se requirieron técnicas que garantizaran su traslado a grandes distancias, como se pudo constatar mediante el análisis arqueozoológico de peces que los antiguos habitantes de la costa veracruzana salaban, ahumaban y/o secaban al sol y trasladaban ellos mismos o sus emisarios comerciantes hacia la gran Teotihuacan (Rodríguez 2017) (Figura 3).

Figura 2. Anzuelos elaborados de concha (Catálogo del Museo de Antropología de Xalapa) <https://sapp.uv.mx/catalogomax/> (consulta 08 de agosto de 2019).

Figura 3. Las técnicas de salado y secado al sol como innovación tecnológica en la preservación de los recursos pesqueros (fotografías de Bernardo Rodríguez).

La innovación tecnológica en el proceso de domesticación del guajolote

De todos es sabido que la intensa migración hacia las ciudades generó en éstas una enorme demanda de alimentos. La innovación tecnológica benefició la agricultura y con ello se incrementaron los productos alimentarios. En las sociedades del pasado, sobre todo del viejo continente, se emplearon animales de interés técnico-comercial y sociocultural en diversas actividades agropecuarias, ya que estaban disponibles localmente y eran accesibles para las sociedades que practicaban la agricultura.

Uno de los retos más significativos de la investigación arqueozoológica es disponer de los elementos necesarios para reconocer si un conjunto de huesos de ave –por ejemplo, de un guajolote– pertenecen o no a un individuo doméstico; las especificaciones al respecto dependen, en gran medida, de las características físicas de cada especie, en este caso del guajolote, así como del tipo de hueso recuperado, pues en ellos se buscan diferencias morfológicas o morfométricas, abundancia, frecuencia, tipo de

individuos en el sitio de hallazgo, características del contexto arqueológico y área de distribución donde se encontraron los restos. Lo primero que hay que reconocer es si los restos óseos muestran evidencias diagnósticas propias de un animal doméstico, características que se pueden comparar con el ancestro silvestre. Aun así, en algunos casos la diferencia no es tan clara, sobre todo cuando se trata de organismos que llevan poco tiempo en la categoría de domésticos o que no han sido parte de procesos de selección artificial intensos, donde las diferencias a nivel osteológico pueden ser poco notorias (Valadez 2003).

La abundancia, frecuencia y tipo de individuos involucran el estudio de una muestra poblacional que aporte datos relacionados con un perfil silvestre o doméstico. En un sitio arqueológico lo esperable es encontrar mayor cantidad de restos de individuos adultos o subadultos, ya que son los más buscados durante las jornadas de cacería, y los más jóvenes, sobre todo tratándose de aves, con frecuencia son ignorados; así, si hablamos de especies silvestres, su presencia en el contexto arqueológico depende de qué tan comunes fueron en el ambiente circundante, sobre todo si se trata de un recurso alimentario que, al ser analizado por el arqueozóologo, sugiere un esquema doméstico por su presencia en el sitio como resultado de su crianza. ¿Por qué hay una

Figura 4. El guajolote, ejemplo vivo del resultado de innovación tecnológica para su domesticación (fotografía de Hugo Cavazos Vela) <https://www.flickr.com/photos/9646365@N03/2381562833/in/photostream/> (consulta 08 de agosto de 2019).

mayor cantidad de individuos de diversas edades? Pues porque nacieron y crecieron en ese lugar para su posterior aprovechamiento. Así se consigue proponer esquemas de domesticación, como sucedió con el guajolote (Valadez 2003) (Figura 4).

Los estudios arqueozoológicos y la innovación tecnológica

En la actualidad el Laboratorio de Paleozoología del IIA-UNAM realiza estudios etnozoológicos con instrumentos de innovación tecnológica. Éstos tratan de enfocar sus esfuerzos en conocer la relación hombre-fauna a partir de las fuentes coloniales escritas, censos o estudios de poblaciones biológicas actuales y, en general, de estudios etnológicos en los que se mencione el aprovechamiento de los recursos animales disponibles en las comunidades humanas, para ello se emplean nuevas tecnologías computacionales. En el laboratorio también se hacen estudios de paleonutrición en poblaciones humanas y de fauna antigua, con restos óseos animales y humanos con el propósito de reconocer patrones alimentarios de individuos que vivieron en época prehispánica, estableciendo para ello un plan metodológico que permita efectuar el análisis químico de los huesos, ya que éstos contienen algunos elementos, en cantidades muy pequeñas, llamados traza, los cuales se han utilizado como indicadores de la posición trófica y de paleonutrición. Las nuevas tecnologías permiten conocer esos patrones de alimentación en el pasado, para ello las muestras óseas requieren ser procesadas, desde la limpieza del hueso hasta su preparación como pastilla para ser analizadas mediante la emisión de rayos X inducida por partículas (PIXE) en el Instituto de Física de la UNAM –con apoyo del doctor José Luis Ruvalcaba– o por fluorescencia utilizando el hueso, con un esquema de limpieza previa, en el Instituto de Geología de la UNAM –en colaboración con la química Fabiola Vega–. En general, el análisis de elementos traza y su cuantificación buscan conocer la concentración de ciertos elementos químicos en el hueso como son el zinc, el estroncio y el bario (Zn, Sr o Ba), mismos que se encuentran en el suelo y que son absorbidos por las plantas que pasan de un organismo a otro vía la red alimentaria. Estos elementos se acumulan en los huesos y, por tanto, al analizar las muestras óseas podemos determinar su cantidad y el nivel trófico donde se ubicó el organismo. Si entre nuestro material tenemos animales domésticos o cautivos, estos estudios son muy importantes, pues permiten saber si se les alimentaba con carne, vegetales, desechos, etcétera.

Finalmente, y como línea de investigación del Laboratorio de Paleozoología del IIA-UNAM, es importante mencionar que las investigaciones arqueozoológicas apoyadas por nuevas herramientas de innovación tecnológica, como los programas computacionales, se han centrado en el estudio zootécnico de cánidos descubiertos en contextos arqueológicos. Esta última ha precisado las características de los cánidos en Mesoamérica antes de la llegada de los europeos. Estos estudios, con el

apoyo de diversas innovaciones tecnológicas, han ayudado a determinar ciertos detalles de los dientes de los cánidos que permiten definir patrones alimentarios. Por la longitud de algunos huesos podemos definir alzada, longitud del cuerpo y peso, así como la forma de la cabeza y proporción alzada-longitud; estos datos nos han permitido reconocer por lo menos cinco razas de perros que existían antes de la llegada de los españoles (Blanco *et al*. 2009): 1) el perro pelón mexicano o *xoloitzcuintle*, 2) el perro de rostro corto de la zona maya o *malich*, 3) el perro común mesoamericano o *itzcuintli*, 4) el perro de patas cortas o *tlalchichi*, 5) el híbrido resultado de la cruza entre un perro común y un lobo, al que hemos llamado "loberro".

Referencias

Blanco, Alicia, Bernardo Rodríguez y Raúl Valadez

2009 *Estudio de los cánidos arqueológicos del México prehispánico*, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto Nacional de Antropología e Historia (Textos Básicos y Manuales), México.

Mura, Fabio

2011 "De sujeitos e objetos: um ensaio crítico de antropologia da técnica e da tecnologia", *Horizontes Antropológicos*, 17 (36): 95-125.

Rodríguez, Bernardo

2017 [en línea] *La pesca mesoamericana: las artes de actividad pesquera del pasado prehispánico y el presente*, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México, disponible en: <http://ru.iia.unam.mx:8080/handle/10684/103>.

Valadez, Raúl

2003 *La domesticación animal*, 2ª edición, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

La innovación en la alimentación prehispánica:

del *teosinte* al maíz y de una mazorca al maizal

Emily McClung de Tapia, Diana Martínez Yrízar, Carmen Cristina Adriano Morán, Emilio Ibarra Morales y Jorge Ezra Cruz Palma*

Una de las innovaciones culturales más importantes en Mesoamérica fue el proceso por el cual se originaron las plantas domesticadas, como el maíz, el frijol y la calabaza, entre otras. Mesoamérica representa uno de los principales centros independientes de domesticación de varias de las plantas económicamente importantes en el mundo actual y la arqueología ha contribuido de manera importante al conocimiento de sus orígenes. Este proceso generó otras innovaciones, como diversas técnicas agrícolas para la producción, así como la nixtamalización que facilitó el consumo y el enriquecimiento nutrimental del maíz.

La domesticación de las plantas alimenticias fue un proceso gradual, el cual todavía no ha sido explicado y entendido completamente. Se ha sugerido que se inició con una tolerancia de ciertas plantas que eran útiles para las comunidades humanas. Los grupos de cazadores-recolectores tenían una larga historia de observación de su entorno, por ello cuidaban algunos vegetales en áreas cercanas a sus campamentos. Conocían su ciclo anual y sabían cuándo era tiempo de recolectar las hojas y tallos tiernos, los frutos maduros, las semillas y, en algunos casos, las raíces y tubérculos para satisfacer sus necesidades de alimento. Con el paso del tiempo se fueron eligiendo las plantas que tenían hojas con mejor sabor, los frutos más dulces y, utilizando sus semillas, las reprodujeron en los campos, con lo que comenzó la producción de alimentos. Esto

* Laboratorio de Paleoetnobotánica y Paleoambiente, Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.

sucedió en una época llamada Holoceno temprano, aproximadamente entre 10 000 y 8 000 años antes del presente.

Si esto ocurrió hace tanto tiempo, ¿cómo podemos saber cuándo y cómo sucedió este proceso? Se investiga empleando las herramientas que proporciona la paleoetnobotánica, la cual estudia la relación hombre-planta por medio del análisis de los restos botánicos conservados en los sitios arqueológicos.

Algunas partes de las plantas –como las flores– son frágiles; sin embargo, hay otras cuya estructura está hecha para resistir y subsisten al paso del tiempo, como, por ejemplo, varios tipos de semillas y fragmentos de madera –que en los contextos arqueológicos pueden estar carbonizados, mineralizados o desecados–, granos de polen y gránulos de almidón que soportan la acción de los hongos y los insectos.

Para poder estudiar los restos botánicos se emplean técnicas de laboratorio (figura 1) que permiten la recuperación del material vegetal incorporado en el sedimento, éstas son:

1. La flotación para semillas, frutos, madera y restos vegetales diversos a los que se les llama macrorrestos.
2. La extracción físico-química de polen, fitolitos y gránulos de almidón que se conocen como microrrestos.

Una vez recuperado el material, se observan sus características morfológicas en el microscopio, se comparan con ejemplares de la colección de referencia botánica, con las descripciones de los manuales especializados o de las claves taxonómicas con el fin de determinar la identidad del taxón al que pertenecen.

Con la información obtenida se plantean hipótesis o posibles explicaciones que ofrecen respuestas sobre el fenómeno o proceso estudiado; las preguntas de investigación generalmente son: ¿qué plantas fueron útiles para un grupo humano y cómo las utilizaron?

A lo largo del tiempo varios investigadores han aplicado la paleoetnobotánica para estudiar temas relacionados con el maíz y con otras plantas mesoamericanas importantes, como, por ejemplo, su origen y la diversificación de sus razas o variedades (MacNeish 1958; Byers 1967; Flannery 1986; Smith 1997, entre otros).

En la actualidad existen dos teorías para explicar la domesticación y diversificación del maíz: la multicéntrica propone que hace unos 8 000 años existieron varios centros de domesticación a partir de diferentes poblaciones mesoamericanas de *teosinte*; la unicéntrica plantea que las poblaciones de *teosinte*, *Zea mays,* subespecie *parviglumis,* dieron origen al maíz en una sola región: la cuenca del Balsas –zona formada por el oriente de Michoacán, suroeste del estado de México y norte de Guerrero (Kato *et al.* 2009).

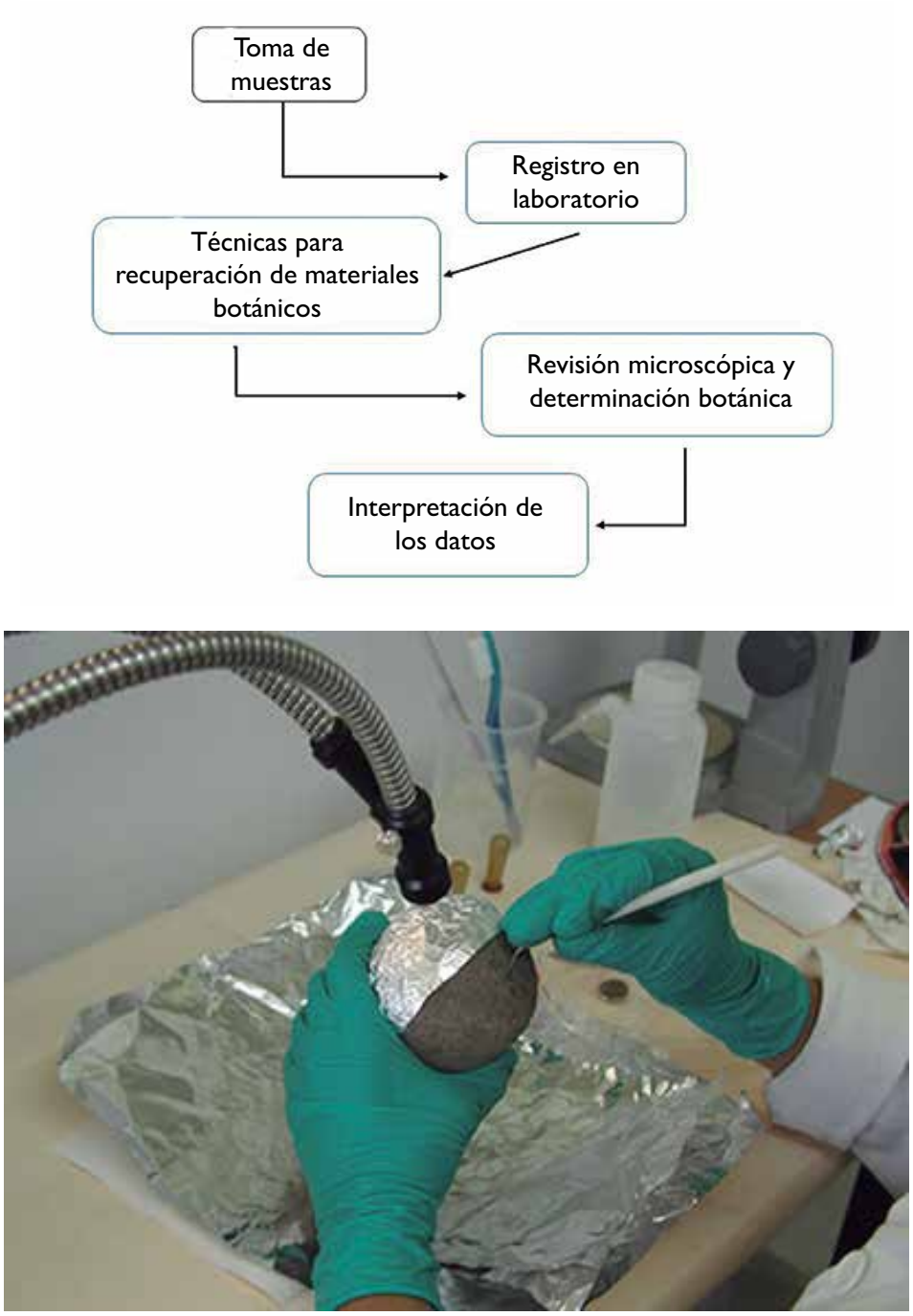


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso general de estudio y toma de muestra en el laboratorio de una piedra de molienda para análisis de gránulos de almidón y fitolitos (diagrama y fotografía del Laboratorio de Paleoetnobotánica y Paleoambiente).

Varios sitios arqueológicos han proporcionado la evidencia que ha contribuido al estudio de la domesticación del maíz a lo largo de más de cinco décadas. Sin embargo, aún quedan muchas lagunas en la información, tanto respecto a la antigüedad del proceso y la difusión hacia otras partes de Mesoamérica como a la diversificación que resultó en las numerosas variedades adaptadas a las condiciones ambientales de cada región. Una serie de investigaciones arqueológicas realizadas durante el siglo pasado iniciaron el estudio del origen de la agricultura en México (MacNeish 1958; Byers 1967; Flannery 1986). Las excavaciones llevadas a cabo en cuevas secas de Tamaulipas –Valenzuela y Romero–, el valle de Tehuacán –Coxcatlán y San Marcos– y Mitla, Oaxaca –Guilá Naquitz–, proporcionaron evidencias macrobotánicas las cuales todavía conforman la mayor parte de la información que se tiene en torno a tres de las plantas –maíz, frijol y calabaza– cuyo cultivo constituye gran parte de la base alimentaria de Mesoamérica y el México actual (Smith 1997).

El abrigo de Santa Marta, Ocozocoautla, Chiapas, proporcionó evidencia de polen y almidón de *Zea*, probablemente *teosinte*, correspondiente a la ocupación del Holoceno temprano, hace aproximadamente 9 400 años (Acosta 2009). En los contextos precerámicos del abrigo de Xihuatoxtla, cerca de Iguala, Guerrero, se realizó un estudio de fitolitos de maíz obtenidos de sedimentos y gránulos de almidón recuperados de instrumentos de molienda y raspadores, los cuales fueron fechados utilizando el carbón asociado con los estratos. Las fechas obtenidas indican la presencia del maíz en este sitio desde hace 8 700 años. Éstos representan los microrrestos botánicos más antiguos de Mesoamérica conocidos hasta ahora y su importancia reside en que se localizaron en el área del supuesto origen del maíz. Dicha información apoya la teoría unicéntrica de la domesticación del maíz y confirma su origen en el Holoceno temprano en una selva tropical más que en tierras altas semiáridas (Piperno *et al.* 2009). El cambio relativamente lento en la morfología de la mazorca durante el periodo Precerámico hasta hace aproximadamente 4 500 años, cuando la agricultura se convirtió en el principal modo de subsistencia en Mesoamérica, ha sido señalado por diferentes investigadores (Flannery *et al.* 1981; MacNeish 1967; Stark 1981; Willey 1981; Benz y Long 2000). Los cambios más notables, ocurren hacia el final del periodo Formativo y están probablemente asociados con la intensificación de la agricultura y la vida aldeana que inició durante la transición entre los periodos Formativo temprano y medio en gran parte de Mesoamérica (Rosenswig 2015; Rosenswig *et al.* 2015).

Estudios genéticos realizados en años recientes (Ramos-Madrigal *et al.* 2016; Vallebueno-Estrada *et al.* 2016) confirman que las mazorcas de maíz identificadas en el valle de Tehuacán, datadas directamente por AMS –radiocarbono por acelerador de masas–, todavía se encontraban en vías de domesticación para este periodo –5 300-4 970 años calibrados antes del presente–, evidencia que enfatiza la domesticación como un proceso continuo que aún estaba inconcluso. Un estudio reciente de isótopos

estables en restos osteológicos humanos (Kennett *et al.* 2020) constata el proceso de incorporación del maíz a la alimentación de pobladores mesoamericanos y señala que la primera evidencia contundente de dicha incorporación –aproximadamente 25 % de la dieta– tuvo lugar entre 4 700-4 000 años calibrados antes del presente, en el área maya en Belice. Esta temporalidad corresponde con el inicio del periodo Formativo, asociado con la tendencia hacia la vida sedentaria, y demuestra la expansión del cultivo y consumo del maíz a lo largo de Mesoamérica para entonces.

Evidencias adicionales de la presencia del maíz en etapas tempranas –7 300 años calibrados antes del presente– son los granos de polen (Pope *et al.* 2001) y fitolitos (Pohl *et al.* 2007) recuperados de núcleos de sedimentos en San Andrés, Tabasco. Los restos no están claramente asociados con campamentos o asentamientos, lo cual no permite en este momento una interpretación más detallada en términos de los grupos sociales y sus actividades agrícolas.

Aunque el maíz se domesticó miles de años antes, los grupos de cazadores-recolectores incorporaron lentamente ésta y otras plantas domesticadas a su subsistencia y, durante algún tiempo, fueron componentes menores de la dieta, la cual estaba compuesta principalmente de plantas silvestres, peces y otros animales pequeños. Un ejemplo de este proceso es el sitio Precerámico de San Gregorio Atlapulco en Xochimilco, Ciudad de México.

San Gregorio Atlapulco, un asentamiento de cazadores-recolectores a la orilla del lago de Xochimilco

San Gregorio Atlapulco, ubicado al sur de la cuenca de México, era un islote en el antiguo lago de Xochimilco. El sitio, conocido como El Japón, se empezó a estudiar en la década de 1980. En estos trabajos se encontraron montículos habitacionales y chinampas del Posclásico tardío (1450-1521), además de una ocupación más temprana en la plataforma principal del sitio (Parsons *et al.* 1982; Ávila 1995; González 1996). Sin embargo, este último periodo no fue excavado en ese momento. En años recientes se retomó la investigación en la zona en el marco del proyecto "Poblamiento, agricultura inicial y sociedades aldeanas en la cuenca de México" (PAPIIT IG400513-3). Uno de sus objetivos es aportar nuevos datos al estudio de las sociedades precerámicas en la cuenca, para lo cual se realizaron excavaciones extensivas en el sitio mediante la definición de cuatro unidades de excavación –A, B, C y D– de las cuales se tomaron muestras de sedimentos para análisis botánicos, faunísticos, datación de líticos, entre otros (Acosta *et al.* 2017). La evidencia de plantas utilizadas por los habitantes fue analizada en el Laboratorio de Paleoetnobotánica y Paleoambiente (LPP) en conjunto con el Laboratorio de Prehistoria y Evolución (LPE), ambos del Instituto de Investigaciones Antropológicas (IIA), UNAM.

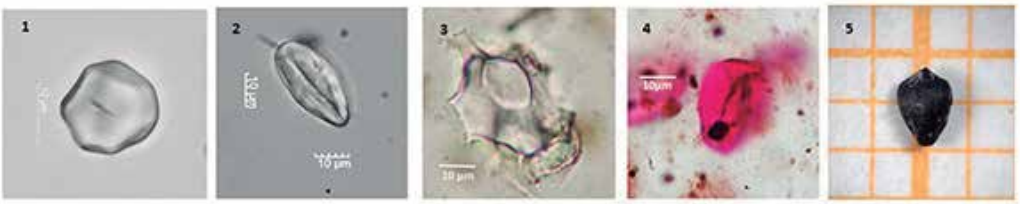


Figura 2. 1) Almidón de maíz, 2) almidón de chile, 3) fitolito de rizoma de ciperácea, 4) polen de ciperácea y 5) semilla de *Schoenoplectus* sp. (fotografías de almidones del Laboratorio de Prehistoria y Evolución; y de polen, fitolito y semilla del Laboratorio de Paleoetnobotánica y Paleoambiente).

El sitio presenta una ocupación con una antigüedad de 6 500 años calibrados antes del presente, con subsistencia basada en la explotación de los recursos del lago, como algunas aves, anfibios y diversas plantas silvestres. Se recuperaron gránulos de almidón de maíz (*Zea mays*), chile (*Capsicum annuum*), frijol (*Phaseolus* sp.*)*, camote (*Ipomoea batatas*), papatla (*Canna* sp.), macrorrestos, polen de una planta acuática (*Schoenoplectus* sp.) además de fitolitos del rizoma de esta última (figura 2). La evidencia muestra que, entre 4 200-3 900 años antes del presente, este grupo de cazadores-recolectores ya utilizaba plantas domesticadas, pero complementaba su alimentación con tubérculos, como el camote y raíces de plantas acuáticas (Acosta *et al.* 2017).

En la orilla del lago de Chalco, Niederberger (1976, 1979) excavó en Zohapilco, un sitio Precerámico que presenta algunas semejanzas con San Gregorio respecto a la adaptación lacustre –utilización de plantas y animales del lago–; sin embargo, se observaron diferencias significativas en lo que concierne a la secuencia de ocupación: en San Gregorio la mayor actividad fue durante una fase asociada con el abandono de Zohapilco. Esto señala la importancia de fenómenos ambientales locales, así como un conocimiento mayor en torno a las ocupaciones en diferentes sectores de la cuenca durante este periodo.

Altica: un sitio del Formativo temprano-medio en el norte de la cuenca de México

Milenios después, al inicio del Formativo en Mesoamérica, se observa una expansión de las comunidades sedentarias agrícolas tempranas con una mayor cantidad de restos botánicos de maíz. En Altica, un sitio con ocupación del Formativo temprano-medio –aproximadamente 1 200 años ane–, encontramos pruebas de esta expansión –también estudiado por el LPP y el LPE. El asentamiento se localiza al noreste de la cuenca de México, en el municipio de Tepetlaoxtoc, en el sur del valle de Teotihuacan. Su importancia radica en que es la aldea agrícola con mayor antigüedad conocida en esta área, cercana a las fuentes de obsidiana del área de Otumba, a las actividades de

extracción y procesamiento de ésta, así como en su participación en el intercambio de la obsidiana por otros productos –como la cerámica– de distintas regiones de Mesoamérica. Cabe mencionar que Altica es el único sitio del periodo Formativo temprano-medio excavado en el valle de Teotihuacan en el sector norte de la cuenca.

Se tomaron muestras de sedimentos para el análisis botánico de las diferentes unidades de excavación y de los instrumentos de molienda encontrados. La evidencia aportada, principalmente por los gránulos de almidón, muestra que había una agricultura en desarrollo y que se consumía maíz, frijol, chile y tubérculos, como el ñame (*Dioscorea* sp.) y el camote (*Ipomoea batatas*), entre otras plantas (figura 3). El maíz también está representado por macrorrestos, en este caso una "cúpula", que es una pequeña estructura que sostiene los granos de maíz en la mazorca (McClung de Tapia *et al.* 2019).

Los resultados de estas investigaciones nos permiten acercarnos a la forma en la que los grupos humanos manejaron las plantas en épocas tempranas. Aunque contamos con datos de que el maíz se empezó a utilizar desde el Holoceno temprano, aún no tenemos registro arqueológico del proceso de domesticación como tal, es decir, el paso del *teosinte* al maíz y de la mazorca al maizal. Sin embargo, la información recuperada permite plantear algunas hipótesis acerca de dicho proceso.

Si bien la agricultura incipiente y la innovación de diversos sistemas agroecológicos para su cultivo se dieron en diferentes partes de Mesoamérica, los ejemplos mencionados proporcionan datos nuevos de dos sitios ubicados en la cuenca de México, importantes cada uno por su temporalidad: San Gregorio Atlapulco –Holoceno medio-Precerámico– y Altica –Formativo temprano-medio. En el entorno lacustre, ambos intervalos temporales se conocían únicamente por medio de los estudios que Niederberger realizó (1976, 1979) en la orilla del lago de Chalco. Altica es el primer sitio formativo en el norte de la cuenca que proporciona evidencia del uso de plantas y, en particular, el maíz. Tanto en San Gregorio como en Altica fue posible proponer una subsistencia de tipo mixto, es decir, basada tanto en plantas domesticadas, obtenidas por prácticas agrícolas iniciales, como en la recolección de otras silvestres para complementar la dieta; en ambos casos los tubérculos aparecen por primera vez como parte de dicha subsistencia. Todavía queda mucho por investigar, como, por ejemplo, saber acerca de los campos de cultivo en distintos sitios de Mesoamérica

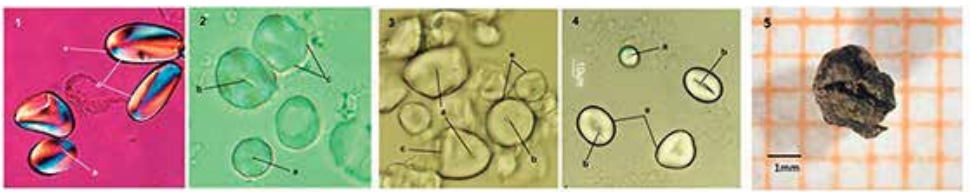


Figura 3. 1) Almidón de ñame, 2) almidón de maíz, 3) almidón de camote, 4) almidón de frijol y 5) cúpula de maíz (fotografías de almidones del Laboratorio de Prehistoria y Evolución; y de cúpula del Laboratorio de Paleoetnobotánica y Paleoambiente).

para conocer las prácticas agrícolas incipientes que dieron paso a una agricultura intensiva con innovaciones como las terrazas, las chinampas en el centro de México y los campos levantados en la zona maya.

Referencias

Acosta Ochoa, Guillermo

2009 "La cueva de Santa Marta. Cazadores-recolectores del Pleistoceno final-Holoceno temprano en las regiones tropicales de México", tesis, Facultad de Filosofía y Letras-Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Acosta Ochoa, Guillermo, Emily McClung de Tapia, Patricia Pérez y Joaquín Arroyo (eds.)

2017 "Informe del Proyecto Poblamiento, Agricultura Inicial y Sociedades Aldeanas en la cuenca de México (paisa-cdm), Segunda Fase, iia-unam", Informe técnico, Consejo de Arqueología, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.

Ávila López, Raúl

1995 "Excavaciones arqueológicas en San Gregorio Atlapulco, Xochimilco", Informe técnico, Dirección de Salvamento Arqueológico, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.

Benz, Bruce y Austin Long

2000 "Prehistoric maize evolution in Tehuacan Valley", *Current Anthropology*, 41 (3): 459-465.

Byers, Douglas S. (ed.)

1967 *The prehistory of the Tehuacan Valley,* vol. 1, Environment and subsistence, University of Texas Press, Austin.

Flannery, Kent

1986 *Guilá Naquitz: archaic foraging and early agriculture in Oaxaca, Mexico*, Academic Press, San Diego.

Flannery, Kent, Joyce Marcus y Stephen Kowaleski

1981 "The preceramic and Formative of the Valley of Oaxaca", en J. A. Sabloff (ed.), *Supplement to the Handbook of Middle American Indians*, vol. 1, Archaeology, University of Texas Press, Austin: 48-93.

González C., Javier

1996 "Investigaciones arqueológicas en 'El Japón': sitio chinampero en Xochimilco", *Arqueología*, 16: 81-93.

Kato, T. Ángel, Cristina Mapes, Luz María Mera, José Antonio Serratos y Robert A. Bye
2009 *Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica*, Universidad Nacional Autónoma de México-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Kennett, Douglas J., Keith M. Prufer, Brendan J. Culleton, Richard J. George, Mark Robinson, Willa R. Trask, Gina M. Buckley, Emily Moes, Emily J. Kate, Thomas K. Harper, Lexi O'Donnell, Erin E. Ray, Ethan C. Hill, Asia Alsgaard, Christopher Merriman, Clayton Meredith, Heather J. H. Edgar, Jaime J. Awe y Said M. Gutiérrez
2020 [en línea] "Early isotopic evidence for maize as a staple grain in the Americas", *Science Advances*, 6 (23): eaba3245, DOI: <10.1126/sciadv.aba3245>.

MacNeish, Richard S.
1958 *Preliminary archaeological investigations in the Sierra de Tamaulipas, Mexico*, American Philosophical Society (Transactions, 48), Filadelfia.

MacNeish, Richard S.
1967 "A Summary of the Subsistence", en D. S. Byers, (ed.), *The Prehistory of the Tehuacan Valley*, vol. 1, University of Texas Press, Austin: 290-310.

McClung de Tapia, Emily, Guillermo Acosta-Ochoa, Diana Martínez-Yrízar, Carmen Cristina Adriano-Morán, Jorge Cruz-Palma y Berenice Chaparro-Rueda
2019 [en línea] "Early-Middle Formative period subsistence in the Teotihuacan Valley, Mexico: Prehispanic Plant Remains from Altica", *Ancient Mesoamerica*, 30: 339-354, DOI: <10.1017/S0956536118000548>.

Niederberger, Christine
1976 *Zohapilco. Cinco milenios de ocupación humana en un sitio lacustre de la cuenca de México,* Instituto Nacional de Antropología e Historia (Colección Científica, 30), México.

Niederberger, Christine
1979 "Early Sedentary Economy in the Basin of Mexico", *Science*, 203: 131-142.

Parsons, Jeffrey, Elizabeth Brumfield, Mary H. Parsons y David J. Wilson
1982 *Prehispanic Settlement Patterns in the Southern Valley of Mexico, The Chalco-Xochimilco Region*, University of Michigan (Memoirs of the Museum of Anthropology, 14), Ann Arbor.

Piperno, Dolores, Anthony Ranere, Irene Holst, José Iriarte y Ruth Dickau
2009 [en línea] "Starch grain and phytolith evidence for early Ninth Millennium B. P. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106 (13): 5 019-5 024, DOI: <10.1073/pnas.0812525106>.

Pohl, Mary E. D., Dolores R. Piperno, Kevin O. Pope y John G. Jones
2007 [en línea] "Microfossil evidence for pre-Columbian maize dispersals in the neotropics from San Andrés, Tabasco, Mexico", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (16): 6 870-6 875, DOI: <10.1073/pnas.0701425104>.

Pope, Kevin O., Mary E.D. Pohl, John G. Jones, David L. Lentz, Christopher von Nagy, Francisco J. Vega e Irvy R. Quitmyer
2001 "Origin and environmental setting of ancient agriculture in the lowlands of Mesoamerica", *Science*, 292: 1 370-1 373.

Ramos-Madrigal, Jazmín, Bruce D. Smith, J. Víctor Moreno-Mayar, Shyam Gopalakrishnan, Jeffrey Ross-Ibarra, M. Thomas P. Gilbert y Nathan Wales
2016 "Genome sequence of a 5 310-year-old maize cob provides insights into the early stages of maize domestication", *Current Biology*, 26 (23): 1-7.

Rosenswig, Robert M.
2015 "A mosaic of adaptation: The Archaeological Record for Mesoamerica's Archaic Period", *Journal of Archaeological Research*, 23 (2): 115-162.

Rosenswig, Robert M., Amber M. Vanderwarker, Brendan J. Cullerton y Douglas J. Kennett
2015 "Is it agriculture yet?: Intensified maize use at 1 000 cal BC in the Soconusco and Mesoamerica", *Journal of Anthropological Archaeology*, 40: 89-108.

Smith, Bruce D.
1997 "Reconsidering the Ocampo Caves and the era of incipient cultivation in Mesoamerica", *Latin American Antiquity*, 8 (4): 342-383.

Stark, Barbara
1981 "The Rise of Sedentary life", en J.A. Sabloff (ed.), *Supplement to the Handbook of Middle American Indians*, vol. 1, Archaeology, University of Texas Press, Austin: 345-372.

Vallebueno-Estrada, Miguel, Isaac Rodríguez Arévalo, Alejandra Rougon-Cardoso, Javier Martínez González, Ángel García Cook, Rafael Montiel y Jean-PhilippeVielle-Calzada
2016 "The earliest maize from San Marcos Tehuacán is a partial domesticate with genomic evidence of inbreeding", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113 (49): 14 151-14 156.

Willey, Gordon
1981 "Recent researches and perspectives in Mesoamerican archaeology", en J. A. Sabloff (ed.), *Supplement to the Handbook of Middle American Indians*, vol. 1, Archaeology, University of Texas Press, Austin: 3-27.

La agricultura intensiva y la innovación de sistemas agrícolas mesoamericanos

Judith Zurita Noguera*

Cuando se investiga sobre una población ya desaparecida, es primordial entender la estrategia de subsistencia que desarrolló para satisfacer sus necesidades alimenticias, esto es, su sistema de producción de alimentos. Así, por ejemplo, el sistema de cultivo que tuvo una comunidad humana en el pasado presenta características directamente derivadas de su entorno natural y las características de las plantas que seleccionaron para alimentarse, ya que cada grupo de plantas requiere de técnicas agrícolas e instrumentos especialmente dirigidos para su cultivo, lo cual resultaría en una estrategia de subsistencia específica, que es importante para definir el carácter de su organización social y tecnología.

Un sistema agrícola está compuesto de las técnicas, instrumentos y estrategias que una población desarrolla para lograr el cultivo de un determinado grupo de plantas que tienen ciclos de vida y necesidades de agua, nutrientes y altitud específicas. En general, la planta cultivada que es base de la alimentación requiere de una serie de condiciones para que crezca y se reproduzca. Por lo cual, los instrumentos y técnicas desarrolladas en Mesoamérica tuvieron como objetivo obtener la mayor productividad de ella.

Una vez que las antiguas poblaciones mesoamericanas domesticaron las plantas que serían parte de su alimentación y tuvieron necesidad de incrementar la productividad de sus cultivos, surgió una serie de innovaciones de instrumentos y técnicas. Al pasar del cultivo incipiente a uno intensivo, poco a poco se fueron abandonando muchas de las estrategias anteriores para obtener alimentos. Se organizaron para que

* Laboratorio de Análisis de Fitolitos, Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.

las tareas agrícolas se efectuaran con la mayor eficiencia con base en los requerimientos y condiciones necesarias para su cultivo principal (figura 1).

Thurston y Fisher (2007) consideran que el concepto de intensificación involucra una gran variedad de respuestas a la necesidad de ajuste y transformación de las prácticas de subsistencia. Esto relacionado con procesos de diversificación o especialización y desintensificación. La diversificación implica el cultivo de una mayor variedad de plantas, lo cual depende en gran medida de la diversidad de éstas en el entorno natural, esto es, que sean originarias del lugar, y de procesos de adaptación de otras importadas, con gran variedad de objetivos, desde alimentación, ceremonias o intercambio, entre otros. La especialización en una o muy pocas plantas es una estrategia riesgosa, aunque importante si el objetivo es tener una productividad mayor de un cultivo específico.

Al combinar ambas estrategias se logran buenos resultados, como en el caso de la milpa, cuyo objetivo principal es cultivar maíz, alrededor del cual se van agregando otras plantas, como frijol, calabaza, chiles o amaranto, entre otras, con lo que se logra diversificar el cultivo y se obtiene una mayor variedad de productos. La desintensificación del cultivo llega a ocurrir cuando una población se especializa en otros productos, generalmente para el intercambio (Thurston y Fisher 2007).

Para estudiar estos procesos, la arqueología ha desarrollado metodologías y técnicas específicas para obtener los datos necesarios que permitan una interpretación lo más precisa posible. Para enriquecer este acervo de información, se recurre a especialistas de otras disciplinas, como la química, botánica y física, entre otras, que contribuyan a la mejor comprensión de los datos obtenidos. El trabajo interdisciplinario facilita una investigación y explicación integral del conocimiento, lo que permite una perspectiva que abarca de manera más amplia la actividad humana en el pasado.

Para el estudio de la agricultura intensiva se han desarrollado metodologías y técnicas que abarcan la prospección y el análisis LiDAR para la identificación de obras hidráulicas y otras modificaciones en campos de cultivo hasta la recuperación de

Figura 1. Cultivo de maíz en el siglo XVI (*Códice Florentino,* libro IV, foja 72).

material botánico. Para identificar las plantas cultivadas en contextos arqueológicos se caracteriza su ciclo de vida y las condiciones necesarias para su cultivo.

Los restos botánicos como evidencia de la intensificación en sistemas agrícolas

Los restos botánicos recuperados de contextos arqueológicos constituyen una fuente de información en diversos aspectos de la vida de las poblaciones. En poblaciones antiguas, las plantas no sólo se usaron como fuente de alimentos, también desempeñaron un papel primordial en actividades sociales y ceremoniales como elemento relevante en la diferenciación social, el ritual y la mitología. Así, el material botánico recuperado en contextos arqueológicos refleja actividades como: almacenamiento, preparación y consumo de alimentos; uso como combustible; para envolver o fabricar artículos, como cestos, tejidos, platos, etcétera; así también, indica actividades culturales, esto es, plantas domésticas o silvestres relacionadas con el culto religioso usadas en ritos y ceremonias o como medicamentos. Otros restos botánicos muestran la vegetación del área después del abandono del sitio, plantas que pudieron haber estado almacenadas y que se desecharon y finalmente las plantas que forman parte del relleno, que pudieron constituir parte del material constructivo de paredes y techos derrumbados. De esta forma, cada tipo de material botánico detectado representa diversas actividades (figura 2).

Figura 2. Principales plantas cultivadas en Mesoamérica: maíz, calabazas de diferentes tipos, chayotes, chile, tomate y cacao, que hasta la actualidad forman parte de nuestra dieta básica (fotografía de Rogelio Santiago Salud, Laboratorio de Análisis de Fitolitos).

El estudio de estos materiales es el objetivo de la paleoetnobotánica, disciplina que se encarga del análisis e interpretación de la relación directa entre humanos y plantas para cualquier propósito, como se manifiesta en el registro arqueológico. La recuperación de los restos botánicos se realiza por medio de técnicas arqueobotánicas, como la palinología, que es el estudio del polen y las esporas; el análisis de macrorrestos, es decir, restos macroscópicos de vegetales, como semillas, madera, y el análisis de fitolitos, que son cristales de sílice que se forman en la epidermis de las plantas que se recuperan en excavaciones. El análisis de fitolitos ofrece muchas posibilidades de uso en la arqueología. En estudios referentes al origen y desarrollo de la agricultura ha sido de gran utilidad, ya que los principales cultivos, como el maíz, el arroz y el trigo, presentan fitolitos en formas muy distintivas e identificables.

Los fitolitos son cristales de sílice que se forman por precipitación en los espacios entre las células de tejidos vegetales. Al depositarse el mineral recubre y encapsula las células que forman los tejidos, tomando su forma original. Tienen una estructura cristalina similar a la del ópalo (Piperno 2006). El sílice se deposita en el espacio intercelular del tejido epidérmico de hojas, tallos y raíces. Los cristales resultantes de cualquiera de éstos poseen formas distintivas, lo que permite reconocer la planta en la

Figura 3. Proceso de muestreo, extracción química e identificación de fitolitos en el laboratorio (Laboratorio de Análisis de Fitolitos).

cual se formaron, y como poseen la posibilidad de subsistir mucho tiempo, al morir la planta, los fitolitos quedan en los sedimentos o en el fondo de objetos, como ollas o metates, lo que permite su posterior recuperación y estudio. Para poder recuperar tanto fitolitos como otros restos botánicos, se toman muestras de suelos durante las excavaciones arqueológicas en pisos de casas y otros edificios, en basureros, fogones, entierros y cualquier otro contexto donde la antigua población realizó alguna actividad.

La información obtenida se estudia e interpreta de acuerdo con el contexto del que proviene (figura 3). Como se mencionó, los fitolitos son especialmente eficientes para la identificación de los principales cultivos en Mesoamérica. Además de determinar la presencia de maíz, se ha podido identificar frijol, calabaza, yuca y palma, entre otros. También podemos obtener información para determinar: condiciones paleoambientales y alteración del paleopaisaje, uso y explotación de plantas silvestres, técnicas agrícolas, definición de áreas de actividad, técnicas de cestería y fabricación de cuerdas, identificación de plantas usadas como material constructivo, estudio de artefactos de molienda gracias a la recuperación e identificación de fitolitos y otros residuos, función de artefactos de cerámica y herramientas de piedra.

La interpretación de la información obtenida no sólo implica el examen del material botánico, sino también su análisis en asociación con otro material recuperado de los contextos arqueológicos. Es necesario contar con la información relativa a la estratigrafía general del sitio, el fechamiento y el contexto particular de la estructura donde se recuperó el material. Con esta información, y el auxilio de información botánica, etnobotánica y etnohistórica, es posible determinar el uso y características de las plantas identificadas como base para su interpretación sociocultural.

El maíz como principal cultivo mesoamericano

Hasta ahora, el maíz se ha considerado como el cultivo básico de Mesoamérica. Kennett *et al.* (2020), en su análisis de isótopos estables de huesos humanos provenientes del área maya en Belice, detectaron que al menos un 25 % de la dieta de estos antiguos pobladores, del inicio del periodo Formativo (4 700-4 000 años calibrados antes del presente), era de este cereal. Sin embargo, estudios recientes han mostrado que en algunas áreas, como en el sitio olmeca de San Lorenzo, Veracruz (1800-900 cal aC), no ocurrió esto (Cyphers *et al.* 2013).

En el Laboratorio de Fitolitos se ha estudiado la subsistencia temprana entre los olmecas, y se ha recuperado información valiosa sobre la forma en la que una de las primeras civilizaciones mesoamericanas explotó los recursos vegetales. En el caso de las estrategias de subsistencia y dieta, al analizar muestras de contextos domésticos, se encontraron fitolitos diagnósticos de maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus* sp.) y calabaza (*Cucurbita* sp.) en contextos que datan de la fase San Lorenzo (1200-800 aC). No se

Figura 4. a) Yuca (*Manihot* sp.), b) fitolito que identifica yuca en los contextos arqueológicos más tempranos del sitio olmeca de San Lorenzo, Veracruz (cortesía: Proyecto Arqueológico San Lorenzo).

ha encontrado, hasta ahora, evidencia de la presencia de maíz en las fases anteriores; sin embargo, sí se ha podido identificar yuca (*Manihot* sp.) o mandioca como base de la alimentación de los olmecas en épocas muy tempranas. En cuanto al polen, no se pudo identificar de manera contundente la presencia de maíz en las muestras estudiadas. En los granos de polen que aparentemente pudieran identificarse como maíz por su morfología y tamaño, no fue posible observar el poro característico de este grano, debido al deterioro que presentan (Ibarra 2013). No se ha encontrado hasta ahora evidencia de la presencia de maíz en las fases anteriores a San Lorenzo, no fue sino hasta periodos más tardíos cuando el maíz comenzó a ser su principal cultivo (San Lorenzo B, 1200 cal aC) (Figura 4).

Este cambio en las estrategias de subsistencia olmeca trajo consigo una serie de innovaciones y transformaciones en el sistema agrícola de esta sociedad, pasando a depender más del maíz al intensificar su cultivo (Cyphers *et al*. 2013). Es importante comprender en qué momento el maíz se transformó en la planta doméstica más importante para los diferentes pueblos mesoamericanos, así como considerar la diversidad biológica de cada área, que permite otras alternativas en la alimentación. La adopción del maíz como principal cultivo fue un proceso gradual que se extendió lentamente por Mesoamérica.

El resultado de esto fue una gradual reprogramación del sistema de obtención de alimentos; esto provocó que todos quedaran supeditados a los tiempos y pasos del cultivo de maíz. Aunque sólo se dedicaban al cultivo de éste en la estación de lluvias, pudieron seguir con la explotación de otros recursos en la estación de seca, mas no como actividad de subsistencia principal, sino secundaria.

Sistemas agrícolas

Para estudiar los sistemas agrícolas existentes en Mesoamérica, es necesario, además de la información botánica, recurrir, por una parte, a la consulta de fuentes escritas del siglo XVI y, por otra, a estudios etnográficos sobre las prácticas de cultivo actuales, que en conjunto con las evidencias arqueológicas obtenidas en las excavaciones –como instrumentos, obras constructivas para preparar campos de cultivo, para la irrigación y áreas o construcciones para el almacenamiento de cosechas– permiten entender cómo se desarrollaron las tareas agrícolas.

Aunque la naturaleza provee las condiciones necesarias para el desarrollo de las plantas, su crecimiento y cosecha, los agricultores pueden manipular el medio ambiente con estrategias y técnicas que permiten incrementar la producción de sus cultivos. Esto implicó una serie de innovaciones que incluyeron la preparación y fertilización del suelo, irrigación, control de hierbas dañinas e insectos, entre otras; además de la fabricación de instrumentos adecuados para cada tarea agrícola. La combinación de técnicas y estrategias varía según la región y las características de las plantas que se cultivan. Pero el factor más importante es entender el ciclo de vida de las plantas, la necesidad de nutrientes y agua para su desarrollo, así como el conocimiento profundo del paisaje natural, lo que permitió desarrollar las técnicas necesarias para un cultivo eficiente.

Para poder ejercer el cultivo intensivo fue necesario adecuar la tierra para esta tarea. En Mesoamérica se recurrió básicamente a la roza y la quema, las cuales todavía se usan de forma extensa. Generalmente, el agua para el cultivo se obtiene de las lluvias, es decir, es una técnica de temporal. Consiste en la tala de la vegetación del área que se va a cultivar, al principio de la temporada de secas, después se deja secar el matorral durante el resto de la estación seca. Cuando llegan las lluvias se quema el área y se siembra simplemente haciendo agujeros y metiendo la semilla con una coa (Rojas Rabiela 2013).

El cultivo de milpa consiste en sembrar el maíz en hileras que van dejando espacios intermedios donde se siembran otras plantas cultivadas, como frijol, calabaza y amaranto. Las plantas se siembran juntas con base en el ciclo de cultivo, que puede ser anual –como el maíz, la calabaza, frijol o amaranto– o de plantas perennes con ciclos de vida de más de un año –como en el caso de árboles frutales– (figura 5). Esta asociación se hace para proteger el suelo de la erosión y el agotamiento, así como para garantizar una abundante cosecha. Es importante señalar que en la agricultura mesoamericana nunca se usó el arado para preparar la tierra para la siembra.

Existen, asimismo, varias técnicas agrícolas en las cuales el cultivo se realiza no con agua de lluvia, sino por medio de la técnica de humedad y riego. El elemento más importante en este caso es la existencia de obras hidráulicas que permitan el aprovisionamiento de agua, con una serie de construcciones, como presas, pozos,

Figura 5. Siembra con coa –bastón adelgazado en la punta o pala angosta, endurecido con fuego– (*Códice Florentino*, libro X, foja 28).

canales, retenes, etcétera, con las cuales se logra tener un abastecimiento de agua constante durante todo el año.

Dependiendo del área geográfica en donde vivieron los pueblos mesoamericanos fueron desarrollando diferentes formas de adaptar campos de cultivo a las condiciones propias del paisaje. Así, en zonas de pendiente –como la cuenca de México– desarrollaron terrazas que permiten detener la humedad, la erosión y aumentar el grosor de la tierra, por medio de la contención con plantas, muros y cualquier elemento que detuviera la pérdida de la superficie de tierra cultivable (Pérez-Sánchez y Juan-Pérez 2013).

Asimismo, en las orillas de los lagos, especialmente en Xochimilco, construyeron chinampas para tener cosechas constantes mediante el aprovechamiento del sedimento del fondo del lago y la flora flotante del mismo, además de obtener irrigación permanente (Merlín-Uribe *et al.* 2013). Las chinampas se hacen cortando tiras de césped (vegetación acuática flotante en los lagos), que se apilan en el lugar elegido y se apisonan, hasta que la última quede sobre el nivel del agua, luego se recubre la superficie con cieno y lodo del fondo del lago, alrededor se siembran ahuejotes (*Salix bonplandiana*), de rápido crecimiento, cuyas raíces retienen la tierra (Rojas Rabiela 2013).

Los campos peraltados o elevados del área maya, en zonas pantanosas, tuvieron la misma función que las chinampas. Para su construcción excavaban una serie de

zanjas paralelas o en retícula y echaban la tierra a cada lado de la zanja para formar un área elevada que quedara por encima del nivel freático, la cual se fertilizaba periódicamente con la tierra sacada de las mismas zanjas.

Los sistemas agrícolas desarrollados en Mesoamérica tenían como objetivo proporcionar un medio ambiente adecuado para las plantas cultivadas, especialmente el maíz, para asegurar el éxito de la cosecha con base en una rutina definida que, de acuerdo con las características estacionales de la zona, garantizaran la fertilidad de la tierra y aseguraran el agua necesaria para el crecimiento de las plantas.

Referencias

Cyphers, Ann, Judith Zurita Noguera y Marci Lane Rodríguez

2013 *Retos y riesgos en la vida olmeca*, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Harper, Lexi O'Donnell, Erin E. Ray, Ethan C. Hill, Asia Alsgaard, Christopher Merriman, Clayton Meredith, Heather J. H. Edgar, Jaime J. Awe y Said M. Gutiérrez

2020 [en línea] "Early isotopic evidence for maize as a staple grain in the Americas", *Science Advances*, 6 (23): eaba3245, DOI: <10.1126/sciadv.aba3245>.

Ibarra Morales, Emilio

2013 "Apéndice III. El análisis palinológico", en A. Cyphers, J. Zurita-Noguera y M. Lane Rodríguez, *Retos y riesgos en la vida olmeca,* Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México: 147-156.

Kennett, Douglas J., Keith M. Prufer, Brendan J. Culleton, Richard J. George, Mark Robinson, Willa R. Trask, Gina M. Buckley, Emily Moes, Emily J. Kate, Thomas K. Harper, Lexi O'Donnell, Erin E. Ray, Ethan C. Hill, Asia Alsgaard, Christopher Merriman, Clayton Meredith, Heather J. H. Edgar, Jaime J. Awe y Said M. Gutiérrez

2020 [en línea] "Early isotopic evidence for maize as a staple grain in the Americas", *Science Advances*, 6 (23): eaba3245, DOI: <10.1126/sciadv.aba3245>.

Merlín-Uribe, Yair, Carlos E. González-Esquivel, Armando Contreras-Hernández, Luis Zambrano, Patricia Moreno-Casasola y Marta Astier

2013 [en línea] "Environmental and socio-economic sustainability of *chinampas* (raised beds) in Xochimilco, Mexico City", *International Journal of Agricultural Sustainability*, 11 (3): 216-233, DOI: <10.1080/14735903.2012.726128> (consulta: 23 de agosto de 2019).

Pérez-Sánchez José M. y José I. Juan-Pérez

2013 [en línea] "Caracterización y análisis de los sistemas de terrazas agrícolas en el valle de Toluca, México", *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 10 (4): 397-418, disponible en: <https://www.academia.edu/27569179/Carcaterizaci%C3%B3n_y_an%C3%A1lisis_de_los_sistemas_de_terrazas_agr%C3%ADcolas_en_el_valle_de_Toluca_M%C3%A9xico> [consulta: 23 de agosto de 2019].

Piperno, Dolores R.

2006 *Phytoliths: A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists,* AltaMira, Lanham.

Rojas Rabiela, Teresa

2013 "Técnicas, métodos y estrategias agrícolas", *Arqueología Mexicana*, 120: 48-53.

Thurston, Tina L. y Christopher T. Fisher

2007 "Seeking A Richer Harvest: An introduction to the archaeology of subsistence intensification, innovation, and change", en Tina L. Thurston y Christopher T. Fisher (eds.), *Seeking a Richer Harvest. The Archaeology of Subsistence Intensification, Innovation, and Change,* Springer, Nueva York: 1-22.

La nixtamalización, importante innovación mesoamericana, y el estudio de residuos químicos en comales

Agustín Ortiz Butrón y Luis Barba Pingarrón*

Una de las principales líneas de investigación del Laboratorio de Prospección Arqueológica del IIA-UNAM es el estudio de residuos químicos en materiales porosos, principalmente pisos y cerámica arqueológica, con la finalidad de determinar áreas de actividad y la funcionalidad de los recipientes.

Como consecuencia del análisis de residuos en la cerámica arqueológica, el laboratorio se ha centrado en el estudio de la alimentación. Para conocer parte de estas actividades, dicho análisis busca detectar indicadores invisibles e intangibles que han quedado atrapados en los poros de la pasta cerámica y que pueden ser identificados, muchos años después de su uso, una vez que han sido ofrendados, desechados o rotos.

El estudio de la cerámica es fundamental para la investigación arqueológica, ya que además de ser muy abundante, a partir de ella se pueden entender aspectos como cronologías relativas, técnicas de manufactura, materias primas, estudios de proveniencia, determinación de la función de recipientes, entre otros.

La cerámica representó un avance tecnológico significativo en relación con las cestas vegetales tejidas, las cuales se usaban principalmente para acarrear y almacenar alimentos. La alfarería proporcionó una nueva forma de conservar, transportar y transformar los alimentos recolectados y cosechados en contenedores más duraderos. Esto repercutió en una mejora en la forma de vida de las culturas y consolidó un mayor sedentarismo.

* Laboratorio de Prospección Arqueológica, Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.

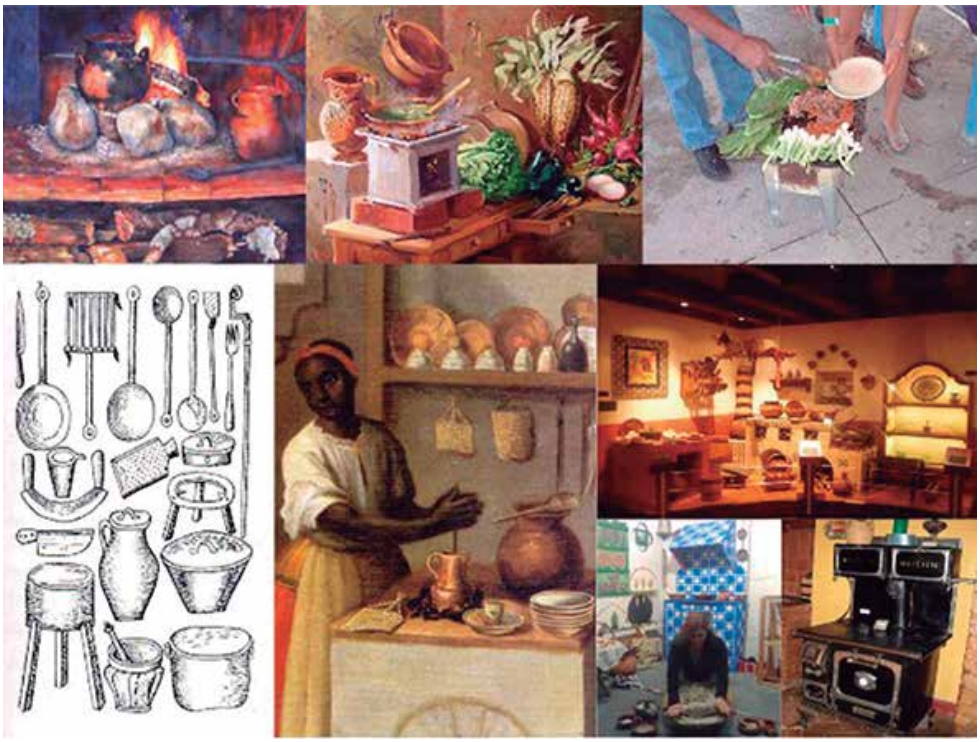


Figura 1. Actividades que ocasionan enriquecimiento químico de la cerámica a partir de su uso, <http://www.historiacocina.com/es/cocina-prehispanica-y-novohispana-las-estufas-y-los-utiensilios-para-cocinar>.

La idea de estudiar los residuos químicos presentes en la cerámica parte del estudio de residuos en pisos y asume que, cuando los alfareros prehispánicos elaboraron sus utensilios con arcilla, los elementos orgánicos que pudieron estar presentes en el barro o en el desgrasante se perdieron durante su cocción, y que cuando dichos instrumentos se utilizaron, se empezaron a enriquecer paulatinamente con sustancias, debido al uso cotidiano durante su tiempo de vida útil (figura 1).

Afortunadamente, y en analogía con los utensilios modernos, nuestros ancestros produjeron formas cerámicas para diversos usos: ollas para cocinar, ánforas para almacenar, platos y cuencos para servir, jarras para contener y servir líquidos, molcajetes para moler alimentos, etcétera (figura 2).

En este sentido, ha sido particularmente interesante el estudio de los comales arqueológicos. Estos instrumentos, que han subsistido hasta nuestros días, elaborados tanto de barro como de metal, y los cuales asociamos con la preparación de las tortillas, al parecer, en sus inicios sólo se utilizaron para asar y tostar semillas e insectos. Y fue hasta que se nixtamalizó el maíz cuando se comenzaron a utilizar para la cocción de las tortillas (figura 3).

Figura 2. Vajilla prehispánica para diversos usos (ollas, comales, anafres, molcajetes, tecomate, copa, jícara) (*Códice Florentino*), <http://www.historiacocina.com/es/cocina-prehispanica-y-novohispana-las-estufas-y-los-utiensilios-para-cocinar>.

Figura 3. Nixtamalización y molido del maíz para preparar masa para tortillas (*Códice Mendocino,* 1979, foja 60).

Inicios de la nixtamalización

Para lograr la nixtamalización como ahora la conocemos, es necesario disponer de cal viva, la cual es un producto pirotecnológico que se obtiene al calentar rocas calizas a más de 800 grados. Esto implica que, para que se desarrollara la nixtamalización, fue necesario que antes se diera la innovación tecnológica de la producción de cal (Villaseñor y Barba 2013). Todo parece indicar que los mayas la iniciaron alrededor de mil años aC, en la zona del Petén, en la frontera de México con los actuales Guatemala y Belice, y que dicha tecnología llegó al centro de México aproximadamente 200 años dC, precisamente a Teotihuacan, donde aprendieron a producir la cal y la utilizaron intensivamente para el recubrimiento de las estructuras arquitectónicas de la ciudad.

Es interesante que en Teotihuacan no existieran comales para la cocción de tortillas y fue posiblemente hasta después de su caída, durante el Epiclásico, cuando se comenzaron a utilizar. Para el Posclásico, en la época mexica, éstos ya eran muy populares y de uso generalizado (figura 4). La primera prueba del uso de la nixtamalización se documentó en la Huasteca con la presencia de metates y comales como

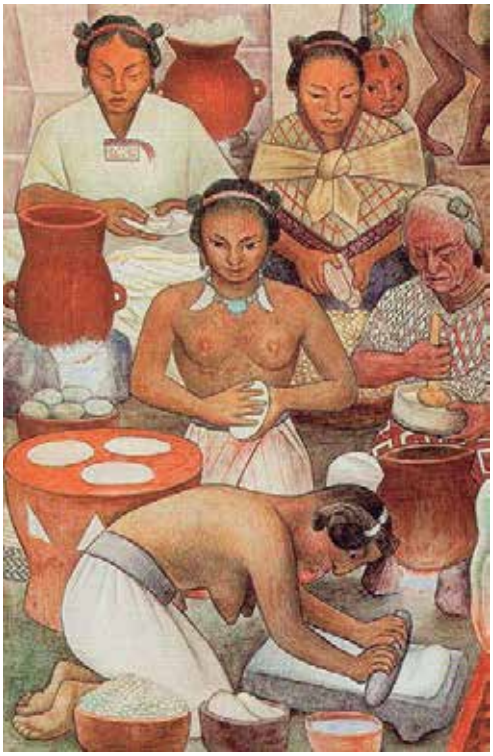


Figura 4. Elaboración de masa en metate y cocción de tortillas en comal (mural de Diego Rivera en Palacio Nacional "Mujeres huastecas cocinando"), <http://www.historiacocina.com/es/cocina-prehispanica-y-novohispana-las-estufas-y-los-utiensilios-para-cocinar>.

ofrendas funerarias, así como el análisis de fragmentos de olla y comal con residuos de carbonatos de calcio y gránulos de maíz (Barba y Stresser-Péan 2021).

La nixtamalización (del náhuatl *nextli,* cenizas, y *tamalli,* masa de maíz) fue una innovación importante en las culturas mesoamericanas, pues constituyó el proceso mediante el cual se pudo hacer masa para las tortillas, así como fabricar infinidad de productos del maíz: tamales, atoles, sopes, tostadas, tlacoyos, etcétera. La nixtamalización consiste en la cocción del maíz con agua y cal. Una vez cocido, el maíz se deja reposar en agua caliente durante toda la noche; finalmente, se lava y se le remueve el pericarpio o cascarilla que recubre el grano y, una vez suave, se muele en el metate. Gracias a este proceso el maíz se vuelve todavía más nutritivo:

1. El grano se hidrata y absorbe calcio y potasio.
2. Aumenta la biodisponibilidad de aminoácidos, de fósforo y calcio, de fibra soluble y almidón resistente.
3. Disminuye el ácido fítico, lo que mejora con ello la absorción de minerales.
4. La fibra dietario-soluble pasa de 0.9 % en el maíz a 1.3 % en la masa y a 1.7 % en la tortilla.
5. La nixtamalización incrementa la disponibilidad de la mayoría de los aminoácidos esenciales. Por tanto, es una de las principales contribuciones a la nutrición humana.
6. Disminuye la cantidad de aflatoxinas que pudieron producirse durante el almacenamiento del grano.

Es interesante que, tras la Conquista, los vencedores se llevaron varios elementos culturales mesoamericanos a Europa, entre ellos, el jitomate, el cacao, el chile, el frijol y el maíz. Sin embargo, no se llevaron la tecnología de la nixtamalización.

El maíz sin nixtamalizar es difícil de digerir cuando se consume como mazorca o cuando se muele el grano. Cada grano de la mazorca tiene una cobertura protectora y el cuerpo humano no tiene las enzimas digestivas necesarias para romper dicha cubierta. Sin embargo, su interior es rico en almidón y podría digerirse fácilmente si no presentara este recubrimiento. Además, el maíz entero puede causar problemas debido a su alto contenido en fibra que se traduce en una mala digestión y síntomas que van desde cólicos hasta diarrea.

Para los europeos y africanos, la ingestión del maíz sin nixtamalizar provocó la pelagra (*pelle*: piel, *agra*: áspera), nombrada así por los cambios que sufría la piel de los aquejados de esta dolencia. Durante muchos años se culpó al maíz de esta enfermedad, pero finalmente se comprobó que dicha afección se relacionaba con una insuficiencia dietética debido a la deficiencia de vitamina B3 (niacina) ocasionada por comer maíz sin nixtamalizar. Es evidente que las culturas mesoamericanas nunca se vieron afectadas por esta enfermedad gracias a la innovación de la nixtamalización

del maíz. Además, al agregarle cal, incrementaron el calcio y garantizaron los aminoácidos esenciales para su dieta.

La evidencia arqueológica

En el Laboratorio de Prospección Arqueológica se han llevado a cabo estudios específicos de comales, tanto arqueológicos como etnográficos modernos, de manera experimental, y los resultados han sido muy reveladores en cuanto a su uso (López Varela *et al.* 2002; Barba *et al.* 2014). En Santa Cruz Atizapán, a la orilla de la ciénega de Chignahuapan, en el valle de Toluca, la gran variedad de formas y tamaños de los comales sugirió un alto grado de especialización. La presencia en algunos de ellos de residuos con ácidos grasos, detectada a partir del análisis con cromatografía de gases, mostró colesterol, indicador de grasas de origen animal, posiblemente de no rumiantes por la ausencia de ácidos grasos de tipo $C_{15:0}$ y $C_{17:0}$ en formas ramificadas. La cercanía del lago parece sugerir que los comales se emplearon para procesar alimentos obtenidos del medio lacustre, como pudo ser el pescado, los crustáceos y las aves. Por otra

Figura 5. Comal tradicional en fogón para la cocción de las tortillas (fotografía del Laboratorio de Prospección Arqueológica).

parte, los comales con paredes altas presentaron un gran contenido de carbohidratos, por lo cual posiblemente se utilizaron para tostar semillas. Y contrario a lo que se esperaba, los comales de Santa Cruz Atizapán presentaron valores muy bajos de carbonatos, lo cual indica que no fueron tratados con una lechada de cal para curarlos. Además, la ausencia de carbonatos, carbohidratos y de almidones ha probado que, en este sitio lacustre del periodo Epiclásico, los comales no se utilizaron para cocer tortillas de maíz. Esto indica que no dispusieron de cal para este procesamiento (Terreros 2013).

En cambio, en sitios más tardíos –del Posclásico– con cerámica azteca, como Axotlán y Churubusco, los comales mostraron valores altos de carbonatos que se pueden explicar por la práctica común de "curar" los recipientes con una lechada de cal en la superficie antes de iniciar su uso cotidiano, como aún hoy se practica en muchos lugares rurales. Además, en esa época, los comales se utilizaban ampliamente para la cocción de tortillas, como plancha de cocción y tostado de alimentos, como insectos, semillas y carne, lo que, en residuos químicos, se traduce en valores altos de fosfatos, ácidos grasos y residuos proteicos (Martínez Morales 2002; Villegas y Patterson 2003). Asimismo, el comal sirvió como base plana para soportar ollas y jarros y mantener calientes los alimentos (figura 5).

Como se pudo observar, varios eventos de innovación han tenido que concatenarse sucesivamente: 1) la invención de la producción cerámica, 2) la innovación tecnológica de la producción de cal y 3) la nixtamalización que permitió la plasticidad de la masa para producir tortillas y obtener infinidad de productos a base de maíz. Tanto comales como ollas desempeñaron una función destacada para aprovechar al máximo las propiedades nutritivas del maíz.

Referencias

Barba, Luis, Agustín Ortiz y Alessandra Pecci

2014 "Los residuos químicos. Indicadores arqueológicos para entender la producción, preparación, consumo y alimentación de alimentos en Mesoamérica", *Anales de Antropología*, 48-I: 201-239.

Barba, Luis y Claude Stresser-Péan

2021 "La nixtamalización y el consumo de tortilla en la Huasteca", en C. Stresser-Péan y S. Ladrón de Guevara (coords.), *Vida y creencias en la Huasteca posclásica*, Museo Nacional de Antropología, Instituto Nacional de Antropología e Historia-Fundación Stresser-Péan, México: 53-70.

López Varela, Sandra, Agustín Ortiz y Alessandra Pecci
2002 "Ethnoarchaeological Study of Chemical Residues in a 'Living' Household in México", en *Proceedings of the 33rd International Symposium on Archaeometry, Amsterdam*, Oxbow, Oxford: 19-22.

Martínez Morales, Juan Manuel
2002 "Estudio de residuos químicos en cerámicas arqueológicas del sitio de Axotlan (Cuautitlán), periodos del Formativo al Posclásico", tesis, Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.

Terreros Olivares, Martín
2013 "Una aproximación a la alimentación por medio del análisis de residuos químicos y FRX de comales provenientes de un sitio lacustre, Santa Cruz Atizapán (550-900 dC)", tesis, Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.

Villaseñor, Isabel y Luis Barba
2013 "Los orígenes tecnológicos de la cal", *Cuicuilco*, 19 (55): 11-42.

Villegas, Edwina y Alejandra Patterson Delaye
2003 "Análisis químicos de residuos en vasijas arqueológicas para determinación del contenido y función de los materiales del Coroco-Churubusco", tesis, Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.

Sección II

Mesoamérica multiétnica

Blanca Zoila González Sobrino y Ana Julia Aguirre Samudio*

Todos los seres vivos disponemos de un conjunto de información organizada para cubrir nuestras funciones. Esta información, de naturaleza microscópica, se encuentra en las células y, como un libro de biblioteca, se abre, se usa, se guarda, en función del desarrollo del individuo, sus características propias y las condiciones ambientales. El estudio de esta información, a la que llamamos "información genética", es especialmente relevante en el momento de determinar aspectos como los grados de parentesco entre individuos, familias, poblaciones o especies. Cuando dos individuos procrean, sus conjuntos de información genética se unen y sus hijos heredan un 50 % del material genético del padre y otro 50 % de la madre. Los hermanos varían y se parecen entre sí porque comparten el 50 % de la información genética. Posteriormente, cuando cada uno tiene descendientes, la similitud entre éstos disminuye a la mitad, ya que las parejas de ellos tienen variaciones hereditarias que aportan una información genética diferente y así, con el paso de las generaciones, la similitud genética va siendo cada vez menor. Esto se ve claramente en la fisonomía de los hermanos que, en general, comparten rasgos físicos, mientras que los primos terceros pueden ser tan diferentes que su parentesco sólo se puede reconocer por los antecedentes familiares.

Tenemos entonces que toda la información que se requiere para funcionar se guarda en el núcleo de la célula; esta información genética se encuentra en el ácido desoxirribonucleico (ADN) que, de manera sencilla, podemos describir como larguísimas cadenas en las cuales cada eslabón, al que llamamos nucleótido del ADN, contiene las bases nitrogenadas A, G, C y T, las cuales tienen una estructura química que sigue un arreglo de unión entre ellas. La secuencia de estas letras constituye, justamente, un código que la célula lee por segmentos –a los cuales denominamos genes–, cada

* Laboratorio de Antropología Genética. Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.

uno tiene la información para elaborar una proteína. En el caso del ser humano, la molécula de ADN posee tres mil millones de eslabones y, aproximadamente, 25 000 genes son los responsables de la herencia. El ADN contenido en el núcleo de las células está protegido por proteínas denominadas histonas que forman un complejo llamado nucleosoma, el cual se enrolla para formar los cromosomas, que en nuestra especie son 23 pares (figura 1).

En el Laboratorio de Antropología Genética se extrae el ADN de las células, para ello se utilizan técnicas específicas con las cuales se reconoce cómo está constituido. ¿Qué es lo que podemos comprender de nuestra historia con estos datos? Se puede conocer las variaciones de una población, cuánto de dichas diferencias se comparte con otros grupos, así como cuántas y cuáles son únicas. Es, a partir de estas comparaciones, como es posible conocer las relaciones entre los grupos.

¿Sabías que las poblaciones humanas en el presente y en el pasado se distinguen a partir de las distancias genéticas que hay entre los individuos, familias, grupos regionales, grupos continentales o especies? Esto ocurre porque las poblaciones, al irse separando en el espacio y en el tiempo, van tomando distancias genéticas –es decir, que cada vez están menos emparentadas. Así, entre los humanos, la mayoría de las diferencias son principalmente entre individuos y no entre agrupaciones, de

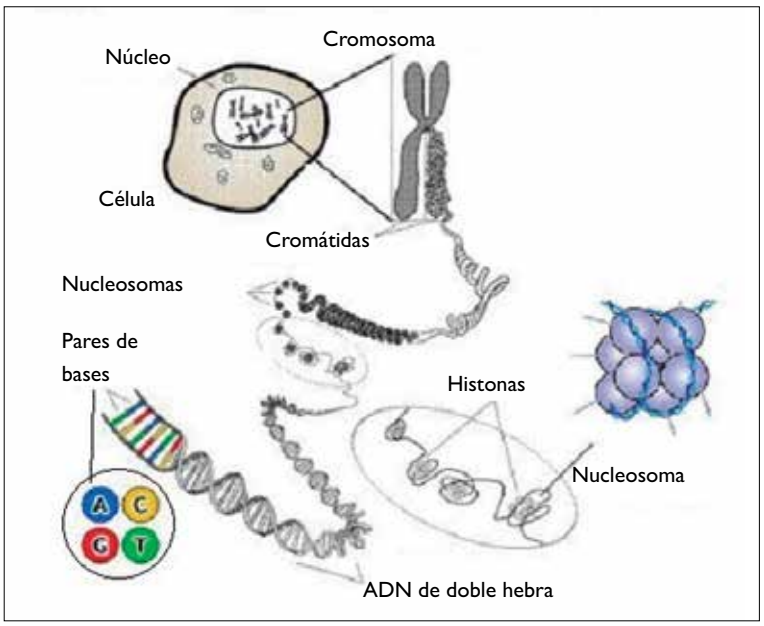


Figura 1. Representación de los componentes de la herencia de una célula animal. El núcleo de la célula guarda espacialmente los cromosomas y protege estructuralmente el material genético por medio de proteínas –histonas– enrollando el ADN con nucleosomas (modificado de <https://es.slideshare.net/lauestherk/relacin-de-cromosomas-genes-y-adn-38159549>).

manera que sólo algunas mínimas diferencias nos permiten encontrar estructuras poblacionales en las regiones en donde han estado asentadas. Por eso, los análisis de genética poblacional se hacen a partir de frecuencias; con estos estudios no hacemos clasificaciones de los grupos humanos ni perfilamos poblaciones, pero podemos saber sobre los procesos evolutivos –los cambios que han ocurrido– en el pasado.

¿Lo sabías?

Cuando una persona fallece, la molécula de ADN se empieza a romper y a degradar por acción de las bacterias. Sin embargo, en la actualidad, es posible recuperar información genética de restos óseos o tejido momificado de hace cientos o miles de años de cualquier especie, tanto de animales grandes como pequeños e inclusiv de plantas cuando la degradación no es total, con las técnicas de biología molecular. Se ha logrado obtener datos genéticos de neandertales de 90 000 años de antigüedad a pesar de que el ADN está fragmentado y, por supuesto, de gran cantidad de restos de los antiguos pobladores de México.

Conocer las relaciones de parentesco entre los habitantes de un asentamiento puede ayudar a los arqueólogos a comprender algunos hechos del pasado. Un ejemplo de esto fue el análisis de los pobladores encontrados en las unidades habitacionales –o ceremoniales– dentro y fuera de Teotihuacan, pues la ciudad tenía relaciones comerciales con otros grupos y también ingresaban migrantes. Para ello se realizaron análisis de ADN antiguo de decenas de muestras, cuya metodología se puede observar gráficamente en la figura 2.

En estos análisis se emplearon pequeños fragmentos de material óseo de los habitantes de las unidades de estudio; el estado de conservación del hueso se puede apreciar por la disposición y unión de las fibras de colágeno en la matriz ósea del tejido. La extracción del ADN lleva un proceso previo de anticontaminación que evita mezcla del material biológico con el de la persona que los va a manipular, así como el uso de luz UV y productos clorados como desinfectantes para evitar la contaminación bacteriana o ADN de cualquier otra especie. El ADN obtenido es expuesto *in vitro* al método de amplificación de regiones específicas del genoma; así se obtienen muchas copias de la región por PCR (reacción en cadena de la polimerasa); la reacción enzimática permite visualizar en geles de agarosa los fragmentos de ADN y sus polimorfismos.

Los genotipos obtenidos con dicha metodología pueden ser analizados comparando las distancias genéticas entre los pobladores de Teotihuacan y los de otras regiones antiguas de México. A partir de este análisis fue posible detectar las relaciones prehispánicas entre mayas, oaxaqueños y teotihuacanos, conocimiento que nos permitió conocer más sobre las relaciones maritales de los teotihuacanos o sobre la diversidad de este grupo, lo cual está asociado con los vestigios cerámicos de otros sitios arqueo-

Figura 2. Metodología empleada en el Laboratorio de Genética para material antiguo. El primer paso requiere la elección de una pieza ósea que físicamente no tenga residuos carbónicos que puedan haber sido expuestos al fuego. Se corta un pequeño fragmento (pasos 2 y 3); éste puede ser examinado por un escaneo de microscopía electrónica (paso 4); en caso de que esté conservado, los ensayos van dirigidos a la obtención de copias de una región del ADN polimórfica (paso 5), la cual se visualiza por electroforesis de geles (paso 6) y con los resultados obtenidos se hacen los análisis de poblaciones (elaborado por A. J. Aguirre Samudio).

lógicos y nos habla de la movilidad que hubo durante el auge de Teotihuacan hacia otras regiones de México (figura 3).

Por otra parte, a partir de ADN de población actual se puede rastrear migraciones antiguas, movimientos poblacionales durante la Colonia y, por supuesto, conocer sobre las migraciones contemporáneas.

En la figura 4 se muestra la distribución de varios grupos del México actual respecto al linaje materno –este linaje se expresa en el ADN mitocondrial–. De la variedad de ADN mitocondrial mundial, utilizando cientos de marcadores, encontramos 65 % en nuestro estudio. El 97 % corresponde al continente americano –49.8 % se caracterizan por el haplogrupo A, 24.3 % por el haplogrupo B, 15.4 % por el C y 7.4 % por el D–, 1.8 % son europeos –haplogrupos R, HV, K, T, U, V, X– y 1.2 % son africanos –haplogrupo L. En las regiones urbanas la herencia nativa americana del ADNmt es del 95.1 % en promedio, mientras que en los grupos hablantes de lenguas indígenas es del 99.7 % (González Sobrino 2016).

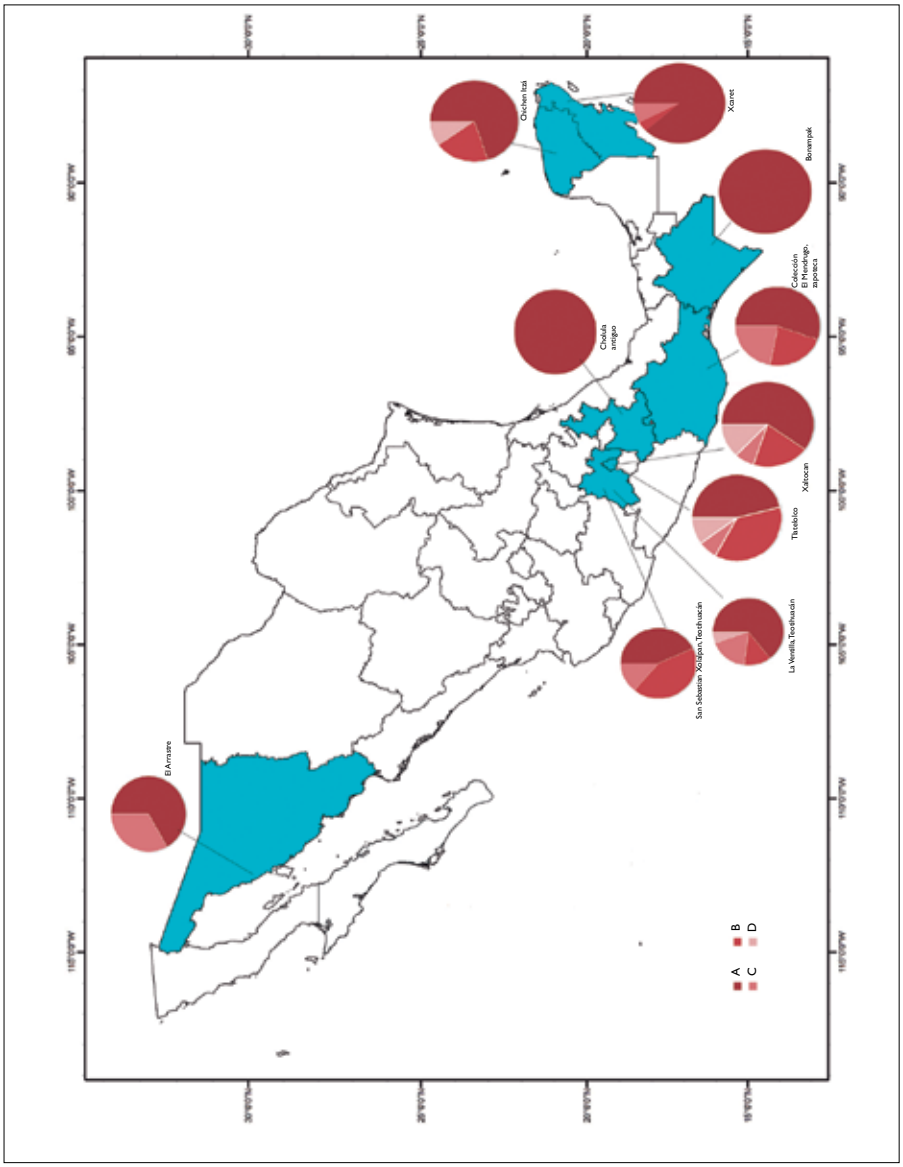


Figura 3. Distribución de frecuencias de haplogrupos mitocondriales nativos americanos (A, B, C, D) en población prehispánica de México. El trabajo de obtención de ADN de los proyectos de investigación del Laboratorio de Antropología Genética ha sido acompañado del esfuerzo de tesistas de licenciatura y posgrado (Aguirre Samudio 2019).

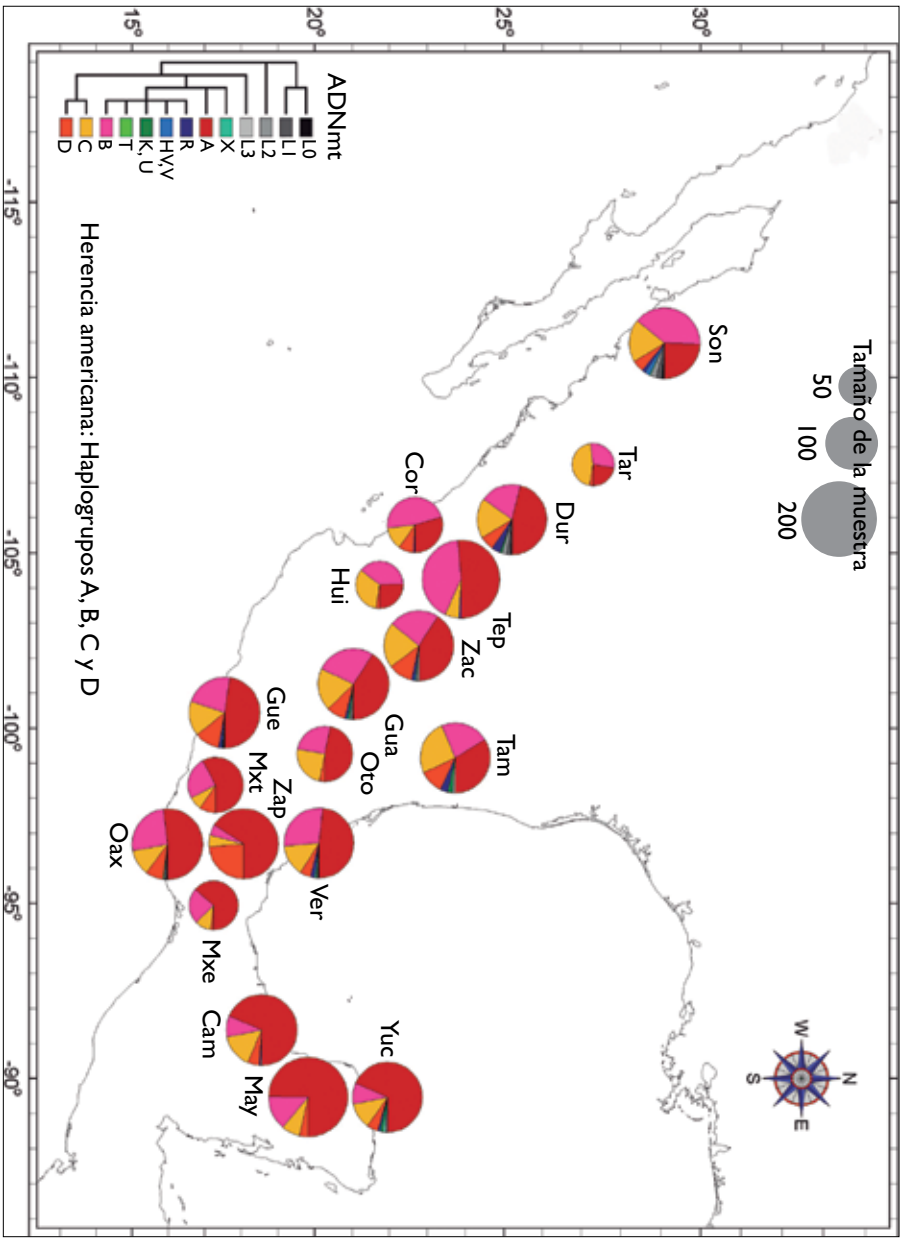


Figura 4. Distribución de haplogrupos del ADN mitocondrial en poblaciones de México (González Sobrino 2016).

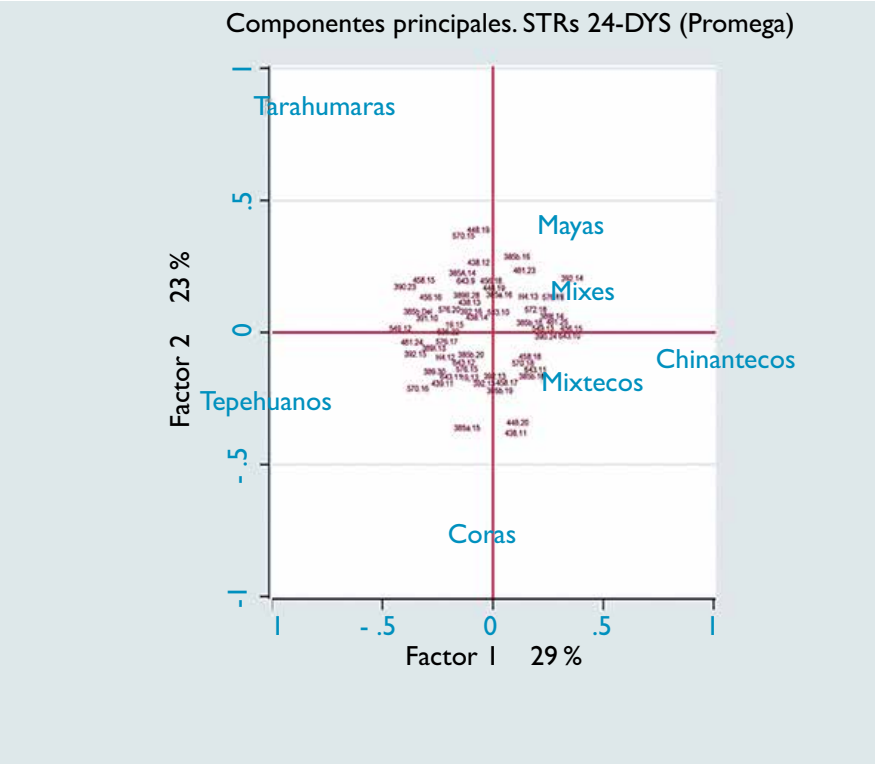


Figura 5. Componentes principales de grupos del norte, sur y sureste de México. Los sitios en el genoma con sus variantes (*loci*) del tipo STR (secuencias cortas repetidas) se marcan con números. Se observa como las variantes logran separar a los grupos indígenas (González Sobrino, en Aguirre Samudio 2019).

Respecto al linaje paterno, a partir de marcadores genéticos del cromosoma Y –STRs, fragmentos cortos repetidos–, mostramos la distribución de la diversidad de cinco grupos indígenas (figura 5). Se trata de resultados de un estudio preliminar donde se especifica *loci* útiles para diferenciar regiones.

Como se puede ver, los estudios de ADN realizados en un laboratorio de un instituto dedicado a la investigación antropológica son muy importantes, ya que la información que ofrecen es útil para analizar prácticamente cualquier proceso relacionado con la herencia biológica de poblaciones humanas en el pasado y en el presente: podemos analizar si hay una correspondencia entre los grupos lingüísticos y la herencia biológica como conjuntos asentados en una determinada región, o el grado de similitud entre los grupos humanos que vivieron en el pasado y los asentamientos en el presente, o analizar cuánto están emparentados distintos conjuntos poblacionales en función de sus características socioculturales –religiosas, económicas, políticas, etcétera. También podemos conocer aspectos de la variabilidad asociados con determinadas

enfermedades genéticas específicas o multifactoriales y su distribución –tanto en poblaciones presentes como antiguas– para analizar aspectos de adaptación al medio. Finalmente, los datos de genética adquieren relevancia en la actualidad para los estudios forenses porque, a partir de ellos, se deslindan querellas sobre paternidad o investigaciones criminalísticas.

Referencias

Aguirre Samudio, Ana J. (ed.)

2019 *Antropología genética, análisis forense y* ADN *antiguo*, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Aguirre Samudio, Ana J., Blanca Z. González Sobrino, Brenda A. Álvarez-Sandoval, Rafael Montiel, Carlos Serrano Sánchez y Abigail Meza-Peñaloza

2017 "Genetic history during the Classic Period Teotihuacan burials in Central Mexico", *Revista Argentina de Antropología Biológica*, 19 (1): 1-14.

Benito, César y Francisco J. Espino

2012 *Genética. Conceptos esenciales*, Editorial Médica Panamericana, Madrid.

González Sobrino, Blanca Z.

2016 *México entre ajetreos históricos y enredos genéticos*, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

La innovación del calendario mesoamericano en el ciclo de vida

Lilia Escorcia Hernández*

La innovación calendárica en Mesoamérica fue tan compleja y completa que no dejó fuera ni un solo motivo derivado de la naturaleza, entre los que se incluía el ciclo de vida de los humanos, el cual se asemejaba al de sus dioses. Este texto expone un modelo ontogenético, es decir, un modelo para el estudio del ciclo vital como propuesta para estudiar la edad biológica y la edad cronológica de la población mesoamericana (Escorcia 2016).

La edad y el concepto del tiempo en el pensamiento occidental

El término "edad" en las personas se refiere al tiempo que se vive. Esta concepción se basa en la percepción que los seres humanos tenemos sobre el ciclo de vida, la forma en la que simbolizamos el tiempo y el espacio en la sociedad y en la cultura. Esta abstracción del tiempo se basa en el movimiento de los astros y los ciclos de la naturaleza, principalmente del Sol.

En la cultura occidental, el concepto del tiempo transcurre de forma lineal, es decir, como una recta en la que cada ciclo de vida tiene un comienzo y un final. Nuestra era está enmarcada en la ideología judeocristiana y comenzó con el nacimiento de Cristo. El ciclo de vida de las personas inicia con la concepción y concluye con la muerte; sin embargo, el cómputo se inicia con el nacimiento, basado en el ciclo solar de 365 días. Con base en este ciclo, todos los seres humanos, al igual que ocurre

* Laboratorio de Antropología Forense, Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.

con los seres vivos, biológicamente crecen, se desarrollan y envejecen en función de su propio ritmo, más o menos homogéneo al de sus pares, pero no igual (Figura 1).

En los humanos, estos ritmos están íntimamente ligados a la herencia genética, al medio ambiente y a la cultura; sin embargo, ocurren diferencias que se pueden expresar en distintos niveles: en el individuo mismo, entre individuos y entre poblaciones. Al estudio del proceso y la respuesta de estos ritmos de crecimiento, desarrollo y envejecimiento del ciclo vital, desde la concepción hasta la muerte, se le llama ontogenia humana y es parte del análisis de la antropología física.

La ontogenia mide y valora la evolución de la expresión biológica a partir de un método comparativo del desarrollo y el envejecimiento basado en una población conocida o de referencia y a esta medida se le conoce como edad biológica. Pero hay otro elemento importante: a este fenómeno de la edad usualmente se le imprime un significado y representación cultural a partir de la concepción del tiempo. Es así como se registra y computa la edad de las personas a partir de la fecha de su nacimiento: 365 días transcurridos equivalen a un año del calendario solar o año trópico, que representan un año de edad vivida o año civil de nuestro calendario vigente, llamado gregoriano. A este concepto relacionado con la noción del tiempo se le denomina edad cronológica.

Para estimar la edad biológica de las poblaciones esqueléticas antiguas se han desarrollado métodos y técnicas desde finales del siglo XIX, principalmente con la descripción del cierre de las suturas del cráneo en la edad adulta. Sin embargo, las primeras observaciones surgen del siglo XVI (Masset 1989; Parson y Box 1905; Todd y Lyon 1924, 1925a, 1925b).

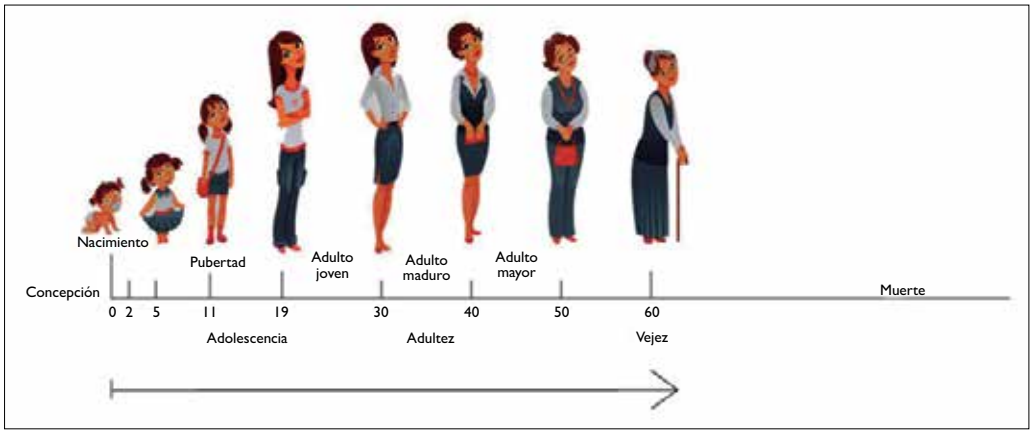


Figura 1. Modelo de la ontogenia humana en Occidente, basado en una escala temporal lineal y progresiva que inicia y finaliza. Su registro es anual e inicia con el nacimiento y su periodo de referencia es el siglo (modificado por Lilia Escorcia; tomado de <http://www.aula365.com/post/etapas-vida/>) [consulta: 05 de junio de 2019].

A mediados del siglo XX se había desarrollado la observación morfoscópica de otros indicadores en el esqueleto poscraneal a partir del estudio de las colecciones osteológicas norteamericanas de referencia (Keen y Wainwright 1958; McKern y Stewart 1957 *apud* Garamendi *et al*. 2007; Stevenson 1924; Todd 1920; Todd y D'Errico 1928), aunque hasta la década de 1970 se publicó la primera propuesta de un método complejo que combina cuatro técnicas para lograr una mayor precisión en la estimación de la edad adulta (Acsádi y Nemeskéri 1970).

Sin embargo, la precisión osteométrica seguía representando el principal problema, no sólo para estudiar las poblaciones pretéritas, sino también para la reconstrucción paleodemográfica y para la identificación de personas en el contexto forense –fallecidos a consecuencia de las guerras militares, los desastres masivos y el incremento de la violencia, principalmente en las grandes ciudades.

Por tal motivo, en 1985 el *American Journal of Physical Anthropology* publicó un volumen completo en el que se incluyeron nuevos métodos y técnicas mejoradas: el cierre de las suturas del cráneo (Meindl y Lovejoy 1985), el desgaste dental (Lovejoy 1985), la sínfisis del pubis (Meindl *et al.* 1985), la involución trabecular a través de radiografías (Walker y Lovejoy 1985) y por primera vez la carilla auricular del ilium (Lovejoy *et al.* 1985b), aunado a la propuesta de un método multifactorial basado en la edad sumaria (Lovejoy *et al.* 1985a). A la par se incrementaron los estudios histológicos y químicos en hueso y dientes (Kimura 1990a, 1990b, 1992; Kimura *et al.* 1989; Ohtani *et al.* 1998; Stout y Paine 1992; Stout *et al.* 1996).

En los años siguientes se desarrolló una etapa de pruebas ciegas de los métodos recién creados, replicándolos en otras poblaciones esqueléticas de referencia, las cuales contaban con datos de la edad documentada. Estas colecciones están albergadas principalmente en los museos y las universidades de Europa y de otros continentes (Baccino *et al.* 1999; San Millán *et al.* 2013; Wolff *et al.* 2012). Algunas de éstas, con esqueletos completos o sólo parte de éstos, fueron conformándose de las salas de disección; otras más, a partir de la exhumación de cementerios locales contemporáneos, y las más recientes, con el apoyo de las técnicas de imagen –radiografía, tomografía computarizada, resonancia magnética y ultrasonido– de reciente incorporación en las morgues de algunas instituciones como parte de la rutina de examinación *post mortem* (Franklin 2010; Grabherr *et al.* 2009; Harth *et al.* 2009; Sidler *et al.* 2007).

El resultado de estas pruebas permitió documentar el grado de eficacia o deficiencia de los principales métodos morfoscópicos para estimar la edad en adultos y crear bancos de referencia con las nuevas colecciones osteológicas. La mayoría de las propuestas recientes se basan en estadísticas inferenciales: análisis factorial o de componentes, regresión múltiple, método bayesiano y teoría de la cuantificación (Boldsen *et al.* 2002; Buckberry y Chamberlain 2002; Verzeletti *et al.* 2010, 2013; Rissech *et al.* 2006).

La ontogenia en Mesoamérica

La ontogenia humana también aparece en la cosmogonía mesoamericana, es decir, en la forma de pensar el mundo en cuatro partes y de manera cíclica, en la que el calendario daba una vuelta cada 52 años solares; los nahuas llamaban a este ciclo x*iuhmolpilli* que significa "atadura de años". Imaginemos una gran rueda con dos ejes, uno vertical y otro horizontal. En el centro del primero se cruza la Tierra con sus cuatro partes o puntos cardinales, hacia arriba el plano celeste tiene trece niveles y hacia abajo el inframundo tiene nueve: en total conforman 26 planos sobre el eje vertical. El eje horizontal incluye una trecena del lado izquierdo y otra del lado derecho, es decir, 26 años solares. Entre ambos ejes se guarda una simetría cíclica y perfecta de 52 años (Figura 2).

El ciclo vital, conformado de cuatro trecenas, abarca todos los planos: inicia con el nacimiento en el oriente, asciende hacia el mediodía y ahí se ubica la primera trecena, es decir, la etapa de la pubertad, a la que se conocía como la "perfecta edad" y estaba representada por el sur. Posteriormente, en la segunda trecena, comienza el descenso hacia el poniente, es decir, que "se va haciendo viejo", y en esta etapa podría ocurrir

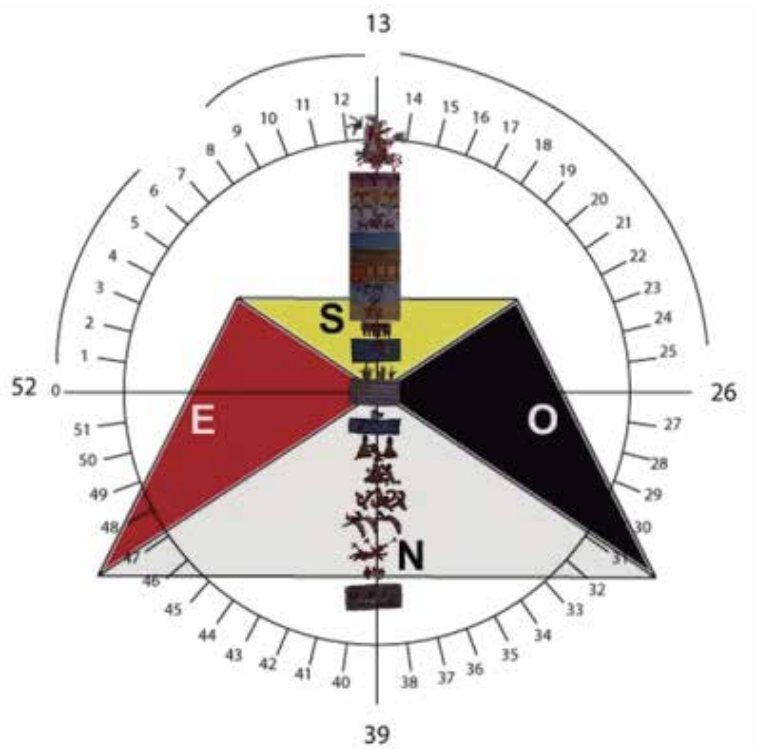


Figura 2. La ontogenia humana inserta en la cosmogonía mesoamericana, regida por los planos del mundo (folio 1v y 2r del *Códice Vaticano A*) y los rumbos del ciclo calendárico de 52 años (elaborado por Lilia Escorcia).

la muerte; en caso contrario, el ser continúa su descenso hacia el norte, representado por la tercera trecena, para resurgir por el oriente en la cuarta trecena.

Las cualidades de estos rumbos están en constante movimiento y éste se representa con la figura *ollin* en el centro y su color es el verde. En la cosmogonía mexica estos rumbos llevan los nombres de *tlapcopa* (este), *huizatlampa* (sur), *cihuatlampa* (oeste) y *mictlampa* (norte), mientras que en la rueda de los *katunes* de la cosmogonía maya se denominan *likin* (este), *nohol* (sur), *chikin* (oeste) y *xaman* (norte); ambas tienen las mismas cualidades y colores (Figura 3).

Es posible que el concepto de ciclo vital estuviese basado en dos ciclos de 52 años, es decir, 104 años como tiempo máximo de vida –la vejez o *huehuelitztli* para los nahuas. La pubertad marca el inicio de la perfecta edad y sugiere el tránsito a la adultez, la cual se consolida con el matrimonio como rito de paso hacia la vejez. La rueda calendárica incluye una compleja y perfecta relación numérica y astronómica, de acuerdo con los estudios de Aveni (2005), la cual se refleja incluso en la estructura arquitectónica, por ejemplo, en los nueve niveles sobre los que descansa el Templo de las Inscripciones de la tumba de Pakal, en Palenque, que, junto con las cuatro partes del mundo, representan la bóveda celeste.

La estructura del concepto del tiempo calendárico trasciende la diversidad cultural entre las regiones de Mesoamérica y mantiene una semejanza simbólica en la ritualidad, que se puede deber a la influencia del contacto cultural de los toltecas y los grupos del Altiplano –principalmente Teotihuacan– con el mundo maya, como se observa en el *Popol Vuh*, en las descripciones de fray Diego de Landa, en los edificios arquitectónicos, en la cerámica y en el comercio, entre otros aspectos.

El eminente historiador Alfredo López Austin sostiene que en el concepto del tiempo en Mesoamérica prevalece un núcleo duro, es decir, una idea básica sobre el tiempo cíclico aún presente en nuestros días. La formación de éste se debe, en gran parte, a la "depuración" abstracta de las vivencias sociales, concretas, cotidianas y prácticas producidas a lo largo de los siglos. Del núcleo duro depende la organización de los componentes en el sistema, el ajuste e inserción de las innovaciones y la recomposición tras la disolución o pérdida de elementos. Se puede afirmar que al menos una parte de dicho núcleo duro, arrastrado desde la época de los primeros sedentarios agrícolas mesoamericanos, resistió a la conquista, a la evangelización y a la larga vida colonial y se encuentra presente en los actuales pueblos indígenas como uno de los componentes vertebrales de la tradición (López Austin 2012).

Todavía en nuestros días, algunas sociedades indígenas se rigen por el calendario sagrado para rituales de sanación, la agricultura y otros ámbitos de la vida cotidiana, coexistiendo con el sistema lineal del concepto del tiempo del pensamiento occidental, es decir, con el calendario gregoriano.

El concepto del ritmo ontogenético de la biología humana, concebido desde la ciencia occidental, basa su registro en el calendario lineal gregoriano en concordancia

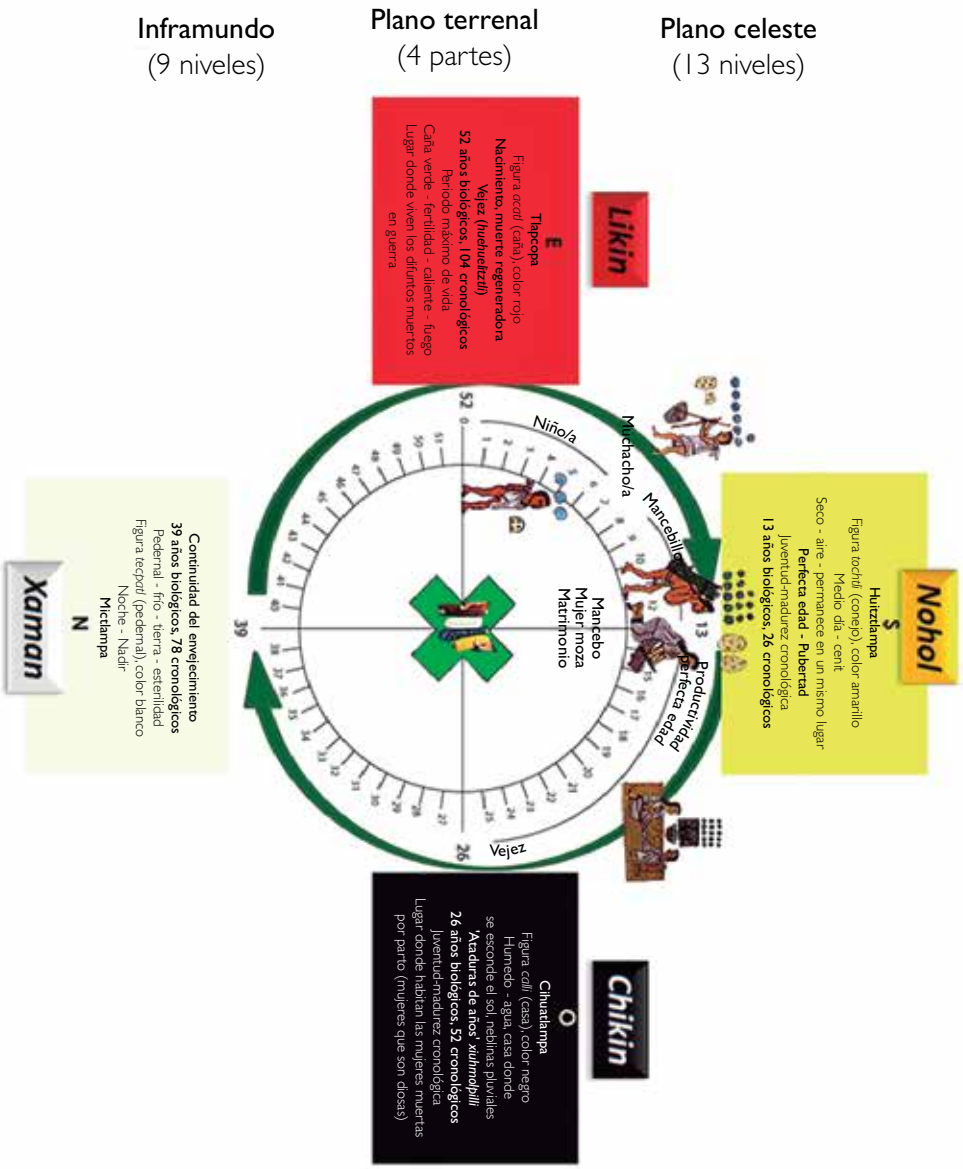


Figura 3. Cualidades de los rumbos del mundo en Mesoamérica y las etapas del ciclo ontogenético (láminas 58r, 60r y 61r del *Códice Mendocino*). En el centro la figura *ollin* que significa 'movimiento' (elaborado por Lilia Escorcia).

con el calendario solar o trópico, por lo que cada 365 días constituyen un año de vida a partir del nacimiento. En este concepto, el ritmo ontogenético o ciclo vital, aunque con variaciones biológicas individuales e interpoblacionales, sigue un curso más o menos homogéneo en todos los humanos, lo que no significa que deba representarse de la misma forma en todas las sociedades.

A diferencia del registro multicíclico del concepto del tiempo en la cosmovisión mesoamericana, por la observación del Sol, la Luna, la "estrella" de Venus y otros astros, en el pensamiento de la cultura occidental se utiliza una misma forma basada en el calendario solar y trópico, no sólo para el registro de cualquier acontecimiento de la vida humana, sino también para la duración temporal de otras cosas o seres, como las plantas y los animales; por ejemplo, solemos decir: "Un perro normalmente vive entre 7 y 10 años, pero cada año-perro equivale a 7 años humanos, por lo que uno de 5 tendría 35 años…", es decir, nuestro concepto del tiempo vivido se modifica para adecuarse a la observación de la duración del ciclo de vida de los perros, incluso por razas.

Para estudiar la edad biológica de los esqueletos humanos de infantes y adultos usamos diferentes técnicas, desde la observación de las características en ciertas regiones de los huesos y dientes –erupción y desgaste dental, formas del crecimiento óseo, suturas craneales, carillas articulares del ilium y la sínfisis del pubis, ente otras partes–, hasta mirar la estructura interna por medio de una radiografía o su estructura celular a través de un microscopio, mientras que, para estudiar el significado y conocer la representación de la edad cronológica es necesario utilizar métodos y técnicas complementarias, por ejemplo, la consulta de archivos, códices, fuentes de primera mano, historia oral, incluso análisis de otros elementos asociados: la temporalidad de la cerámica, madera o cualquier otro objeto por medio de estudios de radiocarbono y otras técnicas novedosas.

Referencias

Acsádi, György y Janos Nemeskéri
1970 *History of Human Life Span and Mortality*, Akademiai Kiado, Budapest.

Aveni, Anthony F.
2005 *Observaciones del cielo en el México antiguo,* Fondo de Cultura Económica, México.

Baccino, Eric, Douglas H. Ubelaker, Lee-Ana C. Hayek y A. Zerilli
1999 "Evaluation of seven methods of estimation age at death from mature human skeletal remains", *Journal of Forensic Sciences*, 44: 931-936.

Boldsen, Jesper L, George R. Milner, Lyle W. Konigsberg y James W. Wood
2002 "Transition analysis: a new method for estimating age from skeletons", en R. D. Hoppa y J. W. Vaupel (eds.), *Paleodemography. Age Distributions from Skeletal Samples*, Cambridge University Press, Cambridge:73-106.

Buckberry, J. L. y A. T. Chamberlain
2002 "Age estimation from the auricular surface of the Ilium: A revised method", *American Journal of Biological Anthropology*, 119: 231-239.

Escorcia, Lilia
2016 [en línea] "La controvertida edad de Pakal y el ciclo ontogenético en Mesoamérica", *Anales de Antropología*, 50-I: 49-74, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.antro.2015.10.002> (consulta 05 de junio de 2019).

Franklin, Daniel
2010 "Forensic age estimation in human remains: Current concepts and future directions", *Legal Medicine*, 12: 1-7.

Garamendi, Pedro M., Miguel C. Botella, Inmaculada Alemán y M. I. Landa
2007 "Fusión de la epífisis esternal de la clavícula en relación con la edad. Aplicaciones en la estimación forense de la edad", *Cuadernos de Medicina Forense*, 13 (48-49): 143-156.

Grabherr, Silke, Christine Cooper, Susi Ulrich-Bochsler, Tanya Uldin, Steffen Ross, Lars Oesterhelweg, Stephan Bolliger, Andreas Christe, Pierre Schnyder, Patrice Margin y Michael J. Thali
2009 "Estimation of sex and age of 'virtual skeletons' –a feasibility study", *European Radiology*, 19: 419-429.

Harth, Sebastian, Martin Obert, Frank Ramsthaler, Christina Reuss, Horst Traupe y Marcel A. Verhoff
2009 "Estimating age by assessing the ossification degree of cranial sutures with the aid of flat-panel-CT", *Legal Medicine*, Supl. 11: S186-S189.

Keen, J. A. y J. Wainwright
1958 "Ossification of the thyroid, cricoid and arytenoids cartilages", *South African Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 4 (2): 83-108.

Kimura, Kunihiko
1990a "Age and sex differences in bone density of the second metacarpal in its midshaft cross-section", *Annals of Human Biology*, 17: 399-406.

Kimura, Kunihiko
1990b "Bilateral asymmetry of cross-sectional radiogrametric and microdensitometric measurements in the second metacarpal", *Okajimas Folia Anatomica Japonica*, 67 (1): 39-46.

Kimura, Kunihiko
1992 "Estimation on age at death from second metacarpals", *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie*, 79(2): 169-181.

Kimura, Kunihiko, Yukata Konishi y Kotohiko Kimura
1989 "Side, age and sex-related differences in microdensitometric measurements of the second metacarpal", *Japanese Journal of Human Posture*, 9 (2): 67-80.

López Austin, Alfredo
2012 [en línea] "Cosmovisión y pensamiento indígena", Instituto de Investigaciones Sociales (Conceptos y fenómenos fundamentales de nuestro tiempo), Universidad Nacional Autónoma de México, México, disponible en: <http://conceptos.sociales.unam.mx/conceptos_final/495trabajo.pdf?PHPSESSID=7205baf9993a36061288c9a50ff12277> (consulta 19 de junio de 2019).

Lovejoy, C. Owen
1985 "Dental wear in the Libben population: its functional pattern and role in the determination of adult skeletal age at death", *American Journal of Physical Anthropology*, 68: 47-56.

Lovejoy, C. Owen, Richard S. Meindl, Robert P. Mensforth y T. J. Barton
1985a "Multifactorial determination of skeletal age at death: a method and blind test of its accuracy", *American Journal of Physical Anthropology*, 68: 1-14.

Lovejoy, C. Owen, Richard S. Meindl, Thomas R. Pryzbec y Robert P. Mensforth
1985b "Chronological metamorphosis of the auricular surface of the ilium: a new method for the determination of adult skeletal age at death", *American Journal of Physical Anthropology*, 68: 15-28.

Masset, C.
1989 "Age estimation on the basis of cranial sutures", en M. Y. Iscan (ed.), *Age markers in the human skeleton*, Charles C. Thomas, Springfield: 71-103.

Meindl, Richard S. y C. Owen Lovejoy
1985 "Ectocranial suture closure: A revised method for the determination of skeletal age at death based on the lateral-anterior sutures", *American Journal of Physical Anthropology*, 68: 57-66.

Meindl, Richard S., C. Owen Lovejoy, Robert P. Mensforth y Robert A. Walker
1985 "A revised method of age determination using the os pubis, with a review and tests of accuracy of other current methods of pubic symphyseal aging", *American Journal of Physical Anthropology*, 68: 29-45.

Ohtani, Susumu, Yoshibumi Matsushima, Yasuhito Kobayashi y Kiyozo Kishi
1998 "Evaluation of aspartic acid racemization ratios in the human femur for age estimation", *Journal of Forensic Sciences*, 43: 949-953.

Parsons, F. G. y C. R. Box
1905 "The relation of the cranial sutures to age", *The Journal of the Anthropological Institute of Great Britain and Ireland*, 35: 30-38.

Rissech Carme, George F. Estabrook, Eugenia Cunha y Assumpció Malgosa
2006 "Using the acetabulum to estimate age at death of adult males", *Journal of Forensic Sciences*, 51: 213-229.

San Millán, Marta, Carme Rissech y Daniel Turbón
2013 "A test of Suchey-Brooks (pubic symphysis) and Buckberry-Chamberlain (auricular surface) methods on an identified Spanish sample: paleodemographic implications", *Journal of Archaeological Sciences*, 40: 1 743-1 751.

Sidler, Martin, Christian Jackowski, Richard Dirnhofer, Peter Vock y Michael Thali
2007 "Use of multislice computer tomography in disaster victim identification – advantages and limitations", *Forensic Science International*, 169: 118-128.

Stevenson, Paul H.
1924 "Age order of epiphyseal union in man", *American Journal of Biological Anthropology*, 7: 53-93.

Stout, Sam D., Marcello A. Porro y Beatrice Perotti
1996 "Brief communication: A test and correction of the clavicle method of Stout and Paine for histological age estimation of skeletal remains", *American Journal of Biological Anthropology*, 100: 139-142.

Stout, Sam D.y R. R. Paine
1992 "Brief communication: histological age estimation using rib and clavicle", *American Journal of Physical Anthropology*, 87: 111-115.

Todd, Thomas W.
1920 "Age changes in the pubic bone", *American Journal of Biological Anthropology*, 3: 285-339.

Todd, Thomas W. y D. W. Lyon Jr.
1924 "Endocranial suture closure. Part I: Adult males of white stock", *American Journal of Biological Anthropology*, 7: 325-384.

Todd, Thomas W. y D. W. Lyon Jr.
1925a "Cranial suture closure. Part II: Ectocranial suture closure in adult males of white stock", *American Journal of Biological Anthropology*, 8: 23-43.

Todd, Thomas W. y D. W. Lyon Jr.
1925b "Cranial suture closure. Part III: Endocranial closure in adult males of Negro stock", *American Journal of Biological Anthropology*, 8: 44-71.

Todd, Thomas W. y Joseph D'Errico Jr.
1928 "The clavicular epiphyses", *American Journal of Anatomy*, 4: 25-50.

Verzeletti, Andrea, Matteo Cassina, Lorenzo Micheli, Adelaide Conti y Francesco de Ferrari
2010 "Age estimation from the rib by components method analysis in white males", *American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 31: 27-33.

Verzeletti, Andrea, Mauro Terliso y Francesco de Ferrari
2013 "Age-at-death estimation in Caucasian females from the morphological analysis of the sternal end of the fourth rib", *Legal Medicine*, 15: 47-49.

Walker, Robert A. y C. Owen Lovejoy
1985 "Radiographic changes in the clavide and proximal femur and their use in the determination of skeletal age death", *American Journal of Physical Anthropology*, 68: 67-78.

Wolff, Katalin, Zoltán Vas, Peter Sótonyi y Lóránt G. Magyar
2012 "Skeletal age estimation in Hungarian population of known age and sex", *Forensic Science International*, 223: 374.e1-374.e8.

El juego de pelota, modalidad ulama de cadera

Matilde Espinosa Sánchez*

Existen muchos textos que documentan el origen del juego de pelota prehispánico, así como los objetivos, mitos y ritos, modalidades y fabricación de las pelotas, vestimenta que se usaba, tipo de canchas y los vestigios arqueológicos. El juego de pelota se practicó desde el periodo Preclásico, el texto más común para conocer sobre el juego de pelota es el *Popol Vuh*. Los objetivos del juego tuvieron relación con la idea de renovación de la vida, del juego de la vida y de la muerte, de la luz y la oscuridad (Rochín 1986). Pero, además, los movimientos que el cuerpo ejecuta al jugar son de un grado de dificultad importante, demandan capacidad y efectividad, sin contar que no son improvisados; éstas son algunas de las razones de hacer el estudio.

Contexto histórico

La práctica del juego de pelota fue un rasgo cultural que compartieron los pueblos mesoamericanos durante el periodo prehispánico. Estaba relacionado con la agricultura, la fertilidad por medio del sacrificio humano y la creación del hombre. Los vestigios arqueológicos muestran la trascendencia de esta actividad en las culturas mesoamericanas, pues en ellos hay un número muy importante de canchas de diferentes tipos y dimensiones; hasta ahora se han registrado 1 200. El juego de pelota se practicó en diferentes modalidades: de cadera, de brazo y de bastón o mazo. Los participantes se vestían con muchos adornos y plumaje; en la modalidad de cadera se usó zapeta de piel de venado, fajado de algodón y protectores de cuero (Lange 1990, 1992). No se conocen reglas del juego, pero en general un equipo iniciaba con un servicio con

* Laboratorio de Biomecánica Deportiva, Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.

la mano y la idea principal era que la pelota pasara al campo del equipo contrario, pegándole solamente con la cadera, brazo o bastón, según fuera el caso. La pelota era llamada *ulamallistli y* se fabricaba con hule o caucho natural producido a partir de un proceso de vulcanización del látex, material que se obtiene de la recolección del fluido lechoso blanco de la incisión en el tronco de algunas plantas tropicales, como la especie arbórea *Castilla elastica*. Tanto el proceso como las plantas eran hasta entonces desconocidos en Europa.

Este deporte se juega aún después de 3 000 años, principalmente en el estado de Sinaloa. En la actualidad las pelotas utilizadas en el *ulama* son de diferentes pesos, de acuerdo con la modalidad del juego: de un kilogramo para la de brazo y de hasta cuatro kilogramos para la de cadera. La vestimenta del jugador ha cambiado: actualmente, en ocasiones, se usan zapatos tenis, cachuchas tipo beisbolista y pantalones deportivos. Hoy en día la cancha se llama "taste" y es un terreno plano que mide 10 metros de largo por 1.40 de ancho para las modalidades de antebrazo y palo y de 65 metros de largo por 5 de ancho para la modalidad de cadera. Las reglas actuales del juego son semejantes a las del tenis o del volibol.

Análisis del movimiento

Dentro del ámbito de la antropología física se estudia el cuerpo humano y también los gestos o elementos técnicos de los movimientos que ejecuta el cuerpo. En este trabajo se analiza tridimensionalmente (3D) los movimientos de los principales gestos ejecutados en el juego de pelota de origen prehispánico, modalidad de cadera. La fuente de información para este estudio son grabaciones en video (Espinosa 2005). Para el análisis se representa el cuerpo humano en 14 líneas rectas, que son los segmentos corporales. Se pidió a un jugador que hiciera los movimientos o "jugadas" que los participantes ejecutan durante un juego de *ulama* y se grabaron los movimientos. Se identificaron básicamente tres elementos o gestos técnicos (Figura 1) al golpear la pelota y regresarla al equipo contrario. Estas secuencias de movimientos dependen de cómo se aproxima la pelota para ser golpeada, esto es, a qué altura, a qué distancia y con qué velocidad. Así, las jugadas son por "arriba" o por "abajo", como las llaman en la actualidad los jugadores. Una opción es golpear la pelota cuando se aproxima, después de botar en el piso con poca altura y velocidad ("abajo"), el golpe con la cadera es al ras del piso. Una segunda opción, cuando la pelota se aproxima alta y veloz ("arriba"), es golpear anticipándose con un impulso, saltando. Una tercera, la menos frecuente, es golpear la pelota sin despegar los pies del piso. Estos tres elementos técnicos son secuencias de movimientos con amplia posibilidad de variación en el desempeño y dependen, como se mencionó, de una infinidad de posibilidades, por ejemplo, de cómo se aproxima la pelota al jugador.

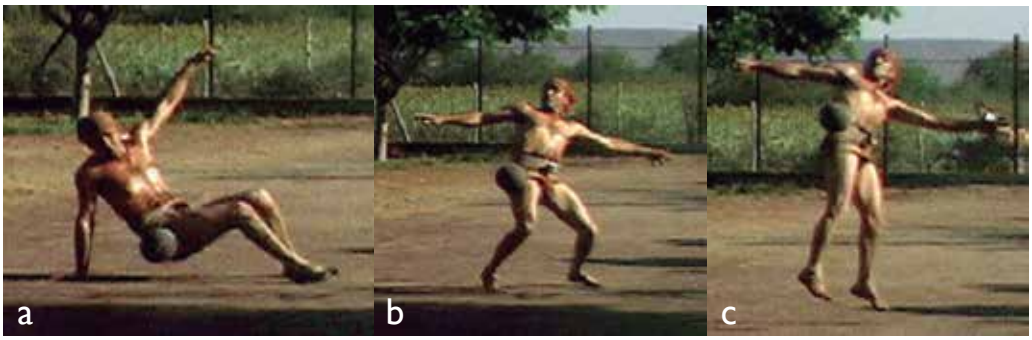


Figura 1. Elementos técnicos básicos del *ulama* de cadera: a) golpe a la pelota al ras del piso, b) golpe a la pelota con los pies en el piso, c) golpe a la pelota con salto (Laboratorio de Biomecánica Deportiva).

Si estructuramos los sistemas de movimiento en partes o fases, cada uno de los elementos técnicos consta de tres fases. Cada fase cumple con una tarea motriz determinada para lograr el objetivo que es golpear la pelota con la cadera. La primera fase es de preparación: el cuerpo ejecuta movimientos que lo preparan para golpear aproximándose al encuentro con la pelota, colocándose a la distancia adecuada y adquiriendo la postura de golpear; la segunda es la principal: es la secuencia de movimientos del golpeo, es decir, del contacto de la cadera con la pelota; y la tercera es la de recuperación, la cual consiste en los movimientos del cuerpo para, desde el efecto producido por el golpe hasta la posición extendida, estar listo para la próxima intervención.

La potencia del golpe depende, en gran medida, de la postura adquirida al finalizar la fase de preparación y del sistema de apoyo que se genere. Mucho tiene que ver la localización de los brazos, como en el caso del golpe al ras del piso, donde la posición del brazo, antebrazo y mano izquierdos estabilizan la postura para elevar el centro de masa e incrementan el momento de fuerza para golpear (Figura 1a).

Cuadro 1. Tiempo de ejecución de los elementos técnicos y fases del *ulama*

Elemento técnico	*dt [s]*	*Fase de preparación [s]*	*Fase principal [s]*	*Fase de recuperación [s]*
Golpe a la pelota al nivel del piso	2.48	0.72	0.20	1.56
Golpe a la pelota con los pies en el piso	2.22	1.31	0.39	0.52
Golpe a la pelota con un salto	1.86	0.63	0.36	0.87

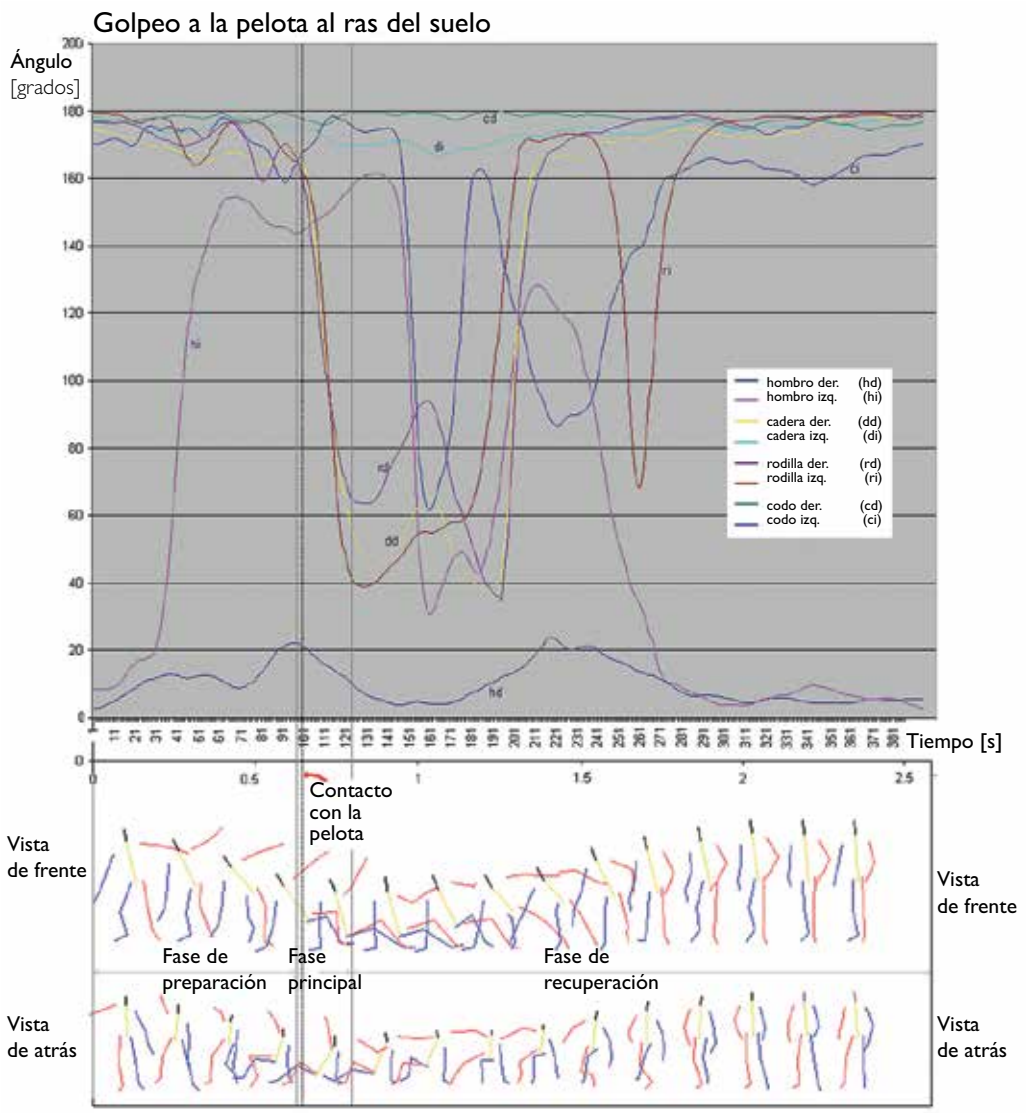


Figura 2. Golpe a la pelota al ras del piso (Laboratorio de Biomecánica Deportiva).

Como se ve en el cuadro 1, la fase principal es la de menor duración, este tiempo no depende de la dinámica del juego, no así las otras dos fases que pudieran durar más o menos tiempo.

El desplazamiento de las uniones articulares –hombros, codos, caderas y rodillas– es diferente en cada elemento técnico. Las gráficas en las figuras 2, 3 y 4 indican cómo es el desplazamiento en el tiempo de ejecución, se muestran las fases y el momento del contacto de la cadera con la pelota, es decir, del golpe. Los 14 segmentos corporales que representan al cuerpo humano son: cabeza, tronco, brazos, antebrazos,

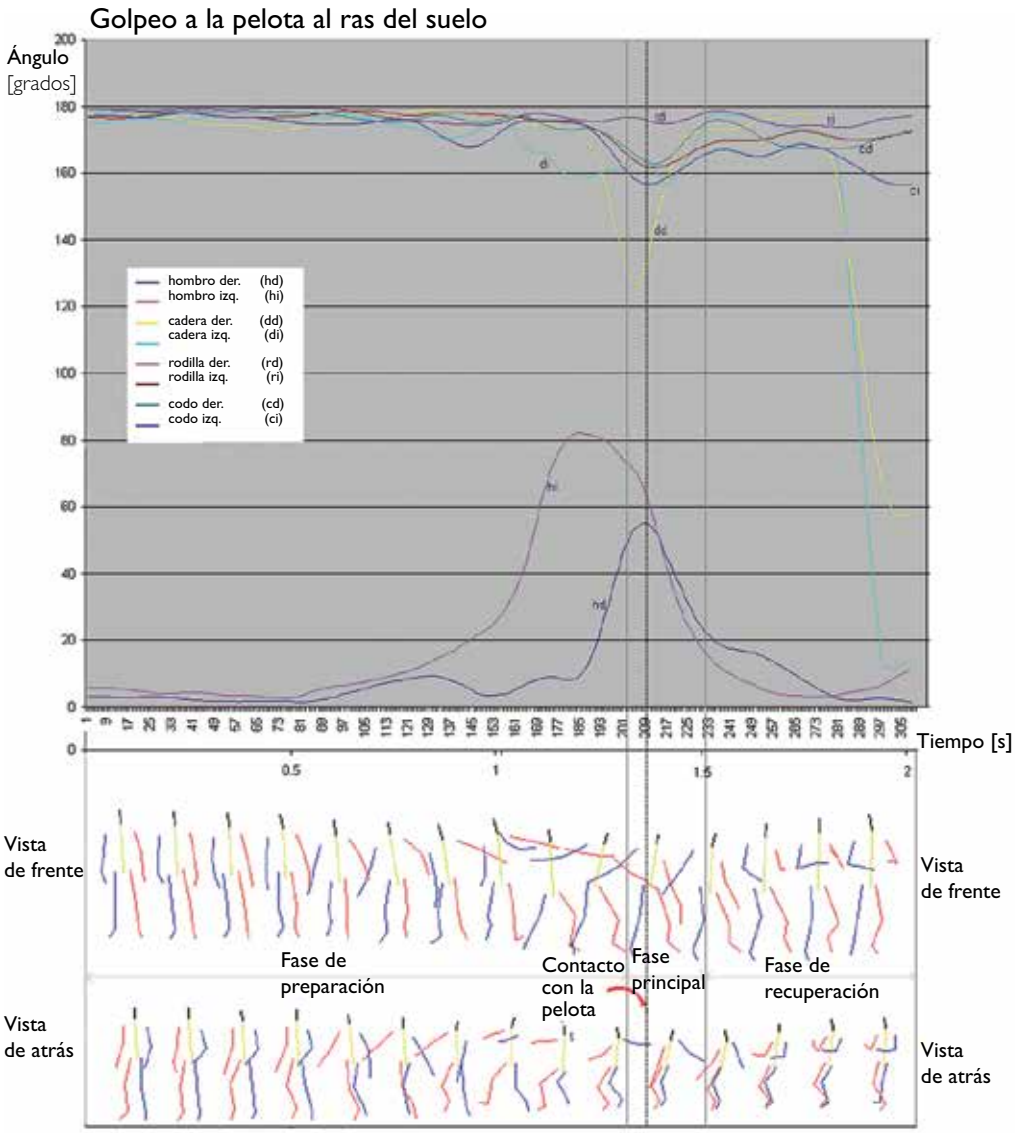


Figura 3. Golpe a la pelota con los pies en el piso (Laboratorio de Biomecánica Deportiva).

manos, muslos, piernas y pies. En las mismas figuras se muestra la secuencia de los movimientos vista de frente y desde atrás.

Como se puede ver en las gráficas, el elemento técnico de mayor rango de movimiento es el golpe a la pelota al ras del piso, el segundo es el salto y el de menor rango es el golpe con los pies en el piso. La respuesta al ras del piso implica un mayor esfuerzo del jugador, ir al piso y levantarse, generalmente ejecutando las tres fases con velocidad. Las gráficas comparativas indican los rangos de amplitud de las uniones articulares.

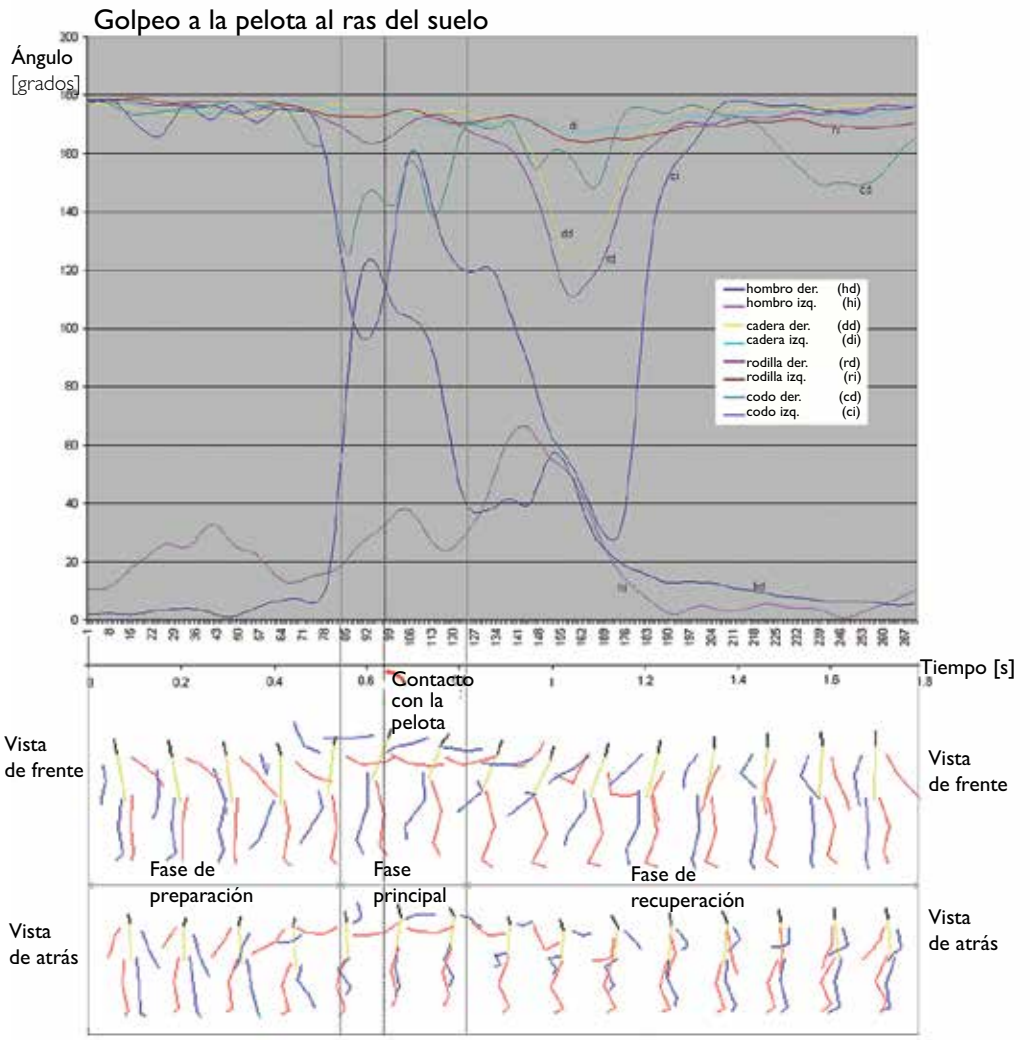


Figura 4. Golpe a la pelota con un salto (Laboratorio de Biomecánica Deportiva).

El trabajo en el Laboratorio de Biomecánica Deportiva, además de una importante búsqueda bibliográfica, incluye contactar y localizar grupos de jugadores en los países a que aún practican el juego. Desde varios puntos de vista, la exploración con el objetivo de conocer la técnica del juego y los valores biomecánicos de los movimientos analizados –cinemática angular tridimensional– ha sido acertada. Para complementar el conocimiento sobre la mecánica del juego, habría que indagar sobre las lesiones ocasionadas accidentalmente por los golpes que reciben con la pelota.

Referencias

Espinosa, Matilde
2005 "Estudio de los movimientos del cuerpo en la práctica del juego de pelota, modalidad ulama de cadera", *Estudios de Antropología Biológica*, XII (1): 473-493.

Lange, Yuar
1990 "*Ullama*, en peligro de extinción", *México Desconocido*, 162 (XIII): 23-27.

Lange, Yuar
1992 "La pelota mixteca", *México Desconocido*, 185 (XVI): 25-29.

Rochín, Roberto (dir.)
1986 [película] *Ulama. El juego de la vida y la muerte*, Mexica Films, México.

Sección III

Tecnología de información geográfica en arqueología

Gerardo Jiménez Delgado y Javier López Mejía*

Tratar de establecer las diferentes formas de innovación que se han dado en Mesoamérica a lo largo del tiempo es una tarea ardua y difícil de abarcar en su totalidad; no obstante, las expresiones de la cultura en sus diferentes ámbitos y dimensiones nos han dejado diferentes evidencias que sirven como herramienta para identificarlas, registrarlas y ubicarlas espacial y temporalmente.

En este sentido, el paisaje –entendido como ese lugar en que se presenta la interacción del hombre con la naturaleza– ha sido el escenario donde se han llevado a cabo las diferentes acciones políticas, sociales, económicas e incluso míticas de la sociedad (Daniels y Cosgrove 1989; Tilley 1994; Ashmore y Knapp 1999; Darvill 1999; Criado 1999: 10). De esta forma, las transformaciones y adecuaciones al paisaje muchas veces se relacionan con innovaciones a los diferentes tipos de infraestructura, ya sea agrícola –chinampas, campos levantados, terrazas, etcétera–, vías de comunicación –caminos, sacbés, etcétera– o arquitectura en general –administrativa y ritual–, modificaciones que dejan su impronta sobre el terreno y que pueden ser registradas e incluso descubiertas a partir de tecnologías actuales.

En las primeras décadas del siglo XX, O. G. S. Crawford (1928), arqueólogo británico, se dio cuenta de que, al analizar fotografías aéreas, era posible identificar alteraciones en el entorno provocadas por el hombre. Se le puede considerar el padre de una revolución en arqueología para la identificación de restos de sociedades del pasado: la aplicación de fotogrametría interpretativa o arqueología aérea. A partir de marcas de suelo, crecimiento diferencial de vegetación, rasgos geométricos y marcas de sombras fue posible ubicar sitios arqueológicos que eran difíciles de observar en el terreno (Figura 1).

* Laboratorio de Análisis Espacial y Digital, Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.

Figura 1. Campos de cultivo ubicados por Crawford (1928) con fotografía aérea.

Esta metodología abrió una nueva perspectiva en el campo de la investigación arqueológica y se volvió una técnica para la planeación y registro de evidencias de actividades humanas del pasado en los proyectos arqueológicos, sobre todo aquellos con una perspectiva regional. Las investigaciones llevadas a cabo por Gordon Willey (1953) en el valle del Virú en Perú, William Sanders y su equipo (1979) en la cuenca de México, Kowalesky y Feinman en el valle de Oaxaca, son sólo algunos de los ejemplos en los cuales se aplicó de manera intensiva la arqueología aérea en el contexto de investigaciones regionales.

Sin embargo, el uso de la fotografía aérea en un proyecto no se remite sólo a la interpretación. A partir de fotogramas que compartan por lo menos entre 55 y 65 % de la imagen del terreno, se puede reconstruir la estructura tridimensional de lo fotografiado con precisión métrica; de esta forma, la fotogrametría se convirtió en una tecnología utilizada por las agencias gubernamentales para la elaboración de cartografía. Su aplicación requiere de avionetas, cámaras y aparatos especializados para convertir las imágenes en mapas. Uno de los mejores ejemplos del uso de estos recursos en arqueología fue el proyecto *Teotihuacan Mapping Project* de René Millon

(1964, 1973), el cual produjo un mapa de toda la ciudad prehispánica, con un nivel de detalle que no se tenía con anterioridad (Figura 2).

Otro uso de imágenes se relaciona con la información registrada por sensores remotos, como satélites o radares, que nos brindan la posibilidad de extender el rango de visión del ser humano al utilizar imágenes que registran energía que es imperceptible, esto nos permite analizar alteraciones en el entorno. Sin embargo, la adquisición de esta tecnología y el procesamiento de datos son costosos, por lo que su uso suele ser limitado.

Una segunda revolución involucró la posibilidad de utilizar vehículos aéreos no tripulados (VANT) con cámaras aéreas, así como la automatización en la adquisición de las imágenes y el desarrollo informático para su procesamiento (Figura 3) (Acosta *et al.* 2018). En sentido estricto, el uso de drones o VANT para propósitos de elaboración de mapas parte de los mismos principios de la fotogrametría métrica tradicional. A

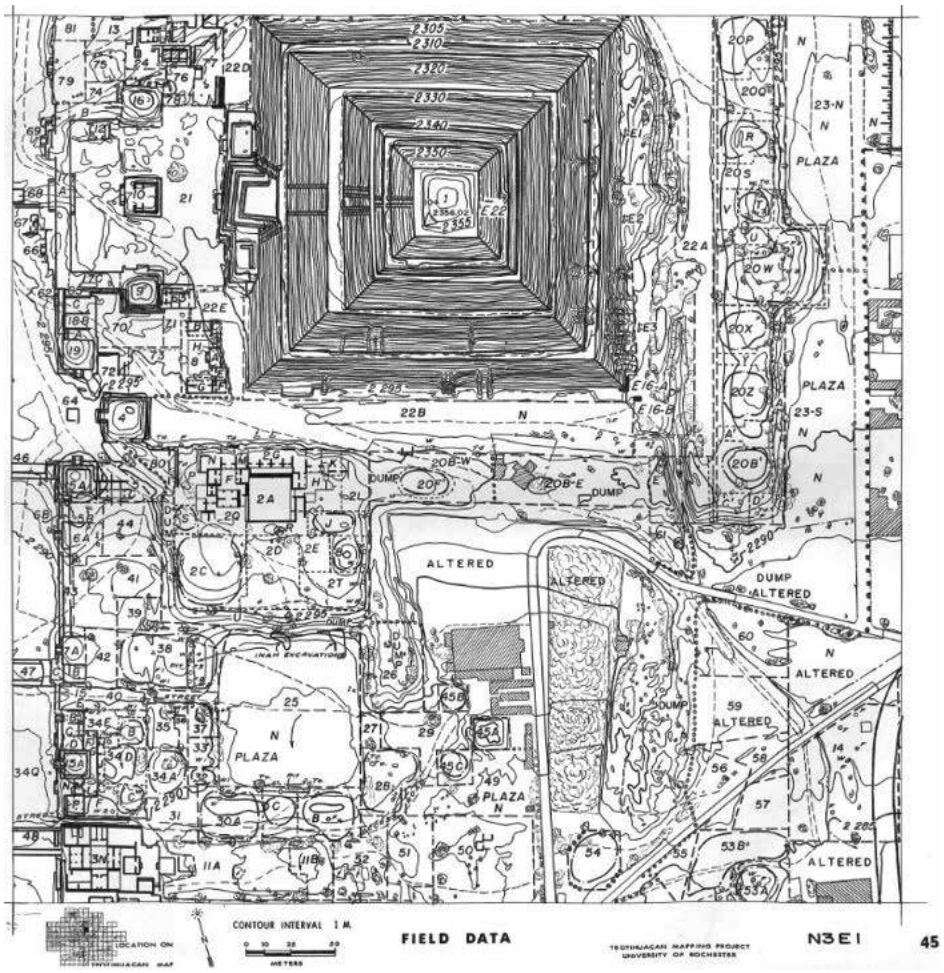


Figura 2. Mapa de la Pirámide del Sol de René Millón (1973).

Figura 3. Exacóptero con cámara digital montada (Laboratorio de Análisis Espacial y Digital).

Figura 4. Puntos de control terrestre para el levantamiento de la pirámide de Cuicuilco (fotografía del Laboratorio de Análisis Espacial y Digital).

Figura 5. Parámetros para automatización del vuelo de un dron en *Pix4d Capture* (Laboratorio de Análisis Espacial y Digital).

partir de fotografías de alta resolución con un alto grado de traslape y puntos de control terrestre cuyas coordenadas X, Y y Z (altura) sean precisas (Figura 4), es posible reconstruir la estructura tridimensional del terreno o un objeto de manera exacta. La ventaja de esta nueva forma de hacer cartografía es que permite controlar el área de interés, así como la escala de resolución, ya que, para poder obtener imágenes con las características mencionadas, se utilizan aplicaciones para controlar el VANT, que pueden ser ejecutadas en una computadora, un teléfono celular o una tableta. En estos programas se controla la altura de vuelo, el porcentaje de traslape entre las tomas, el ángulo de la cámara, el área que se desea sobrevolar y la ruta de vuelo (Figura 5).

La información obtenida se procesa en programas especiales de cómputo con la tecnología "estructura a partir del movimiento" (*Structure from Motion* o SFM). Estos programas son capaces de reconstruir la estructura tridimensional del terreno o un objeto a partir de las imágenes recopiladas. Los productos obtenidos son modelos digitales de elevación, modelos tridimensionales, ortofotografías, etcétera.

La información generada se procesa posteriormente en Sistemas de Información Geográfica con el objetivo de obtener visualizaciones que hagan más evidentes los rasgos culturales, tales como modelos de sombreado digital o modelos de pendientes (Figuras 6, 7, 8 y 9).

Otra ventaja del uso de drones o VANT es la posibilidad de montar sensores infrarrojos y térmicos, lo que nos permite obtener fotografías de alta resolución en las que se pueden detectar diferencias en el crecimiento de vegetación, calor residual y, por medio de ello, posibles alteraciones humanas en el entorno. Antes esto sólo era posible a partir de imágenes de satélite.

Figura 6. Imagen infrarroja de la pirámide de Cuicuilco
(fotografía del Laboratorio de Análisis Espacial y Digital).

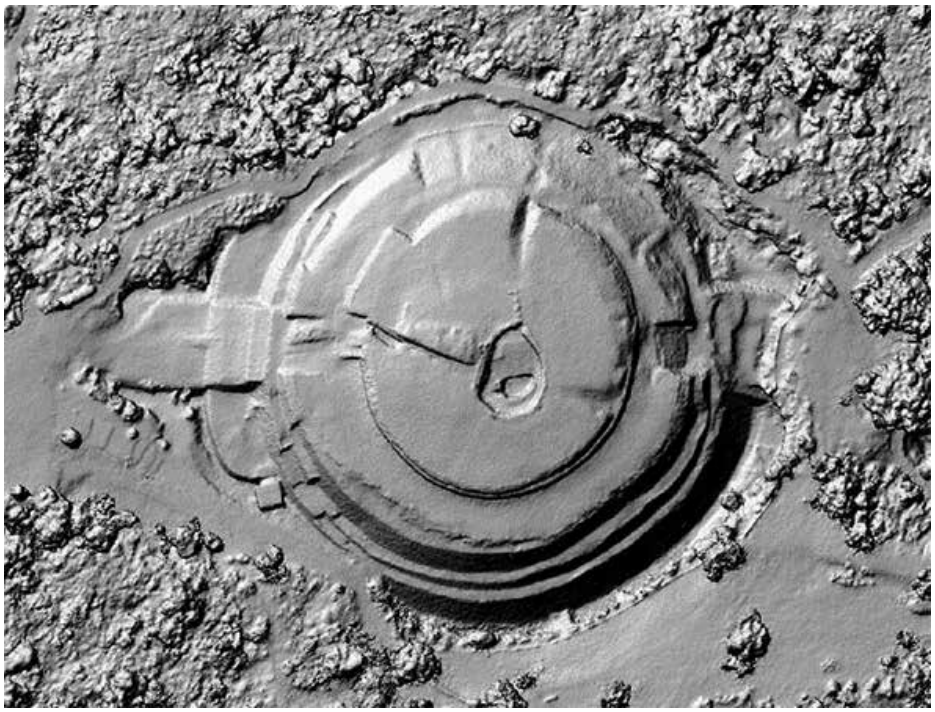


Figura 7. Modelo de sombreado digital de la pirámide de Cuicuilco
(fotografía del Laboratorio de Análisis Espacial y Digital).

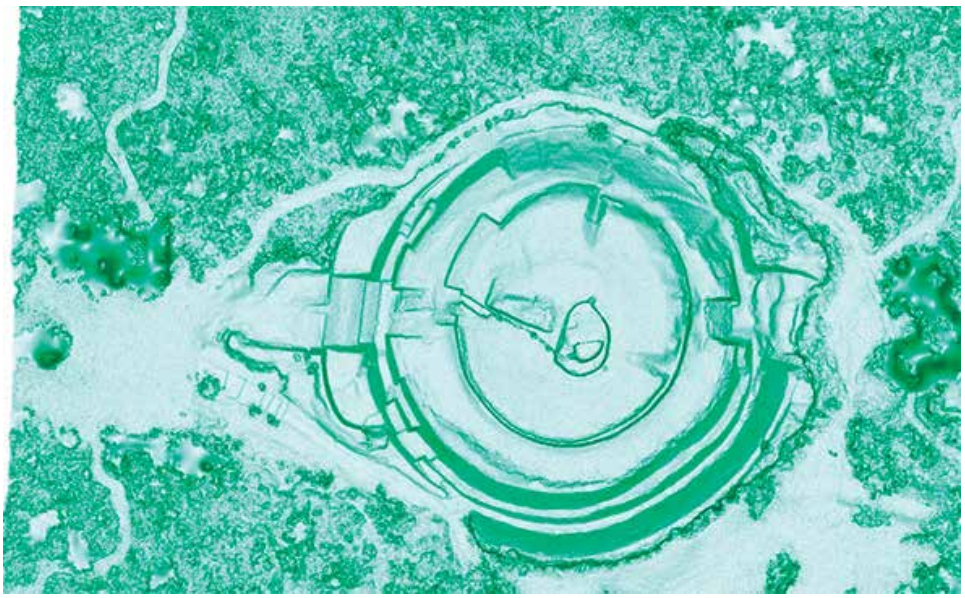


Figura 8. Modelo de pendientes de la pirámide de Cuicuilco (fotografía del Laboratorio de Análisis Espacial y Digital).

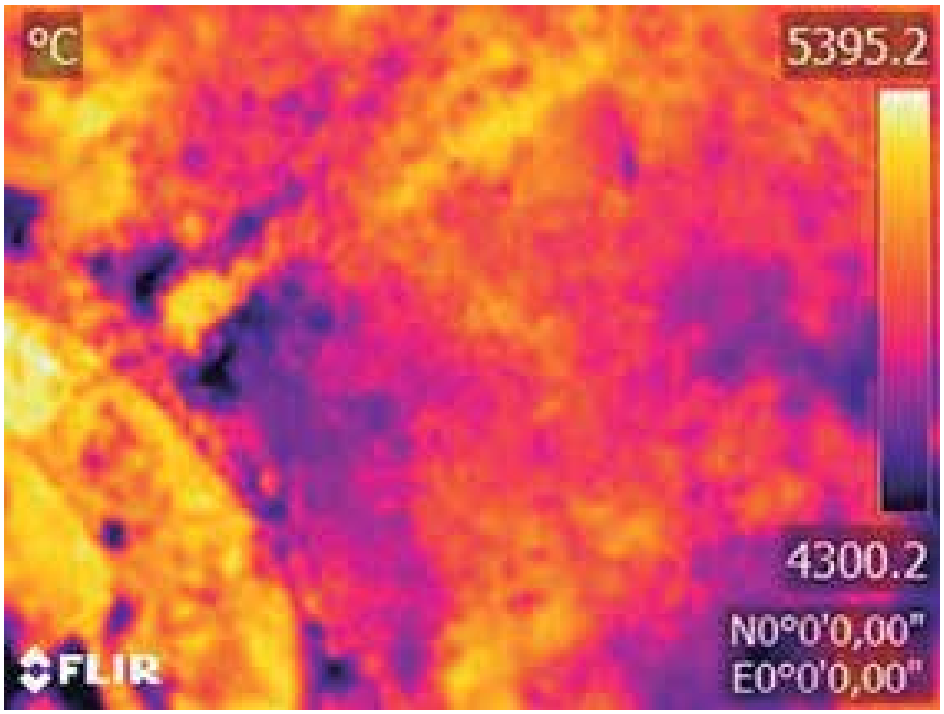


Figura 9. Imagen de calor residual de un segmento de la pirámide de Cuicuilco (fotografía del Laboratorio de Análisis Espacial y Digital).

La nueva revolución

Arlene y Diane Chase (2014) pueden ser consideradas, al igual que Crawford, pioneras de una revolución en arqueología. En 2009 efectuaron un vuelo para obtener datos *Light Detection and Ranging* (LiDAR) del sitio El Caracol en Belice. A partir de esta información obtuvieron un modelo que muestra la estructura urbana de este importante asentamiento, con una multiplicidad de estructuras que no habían sido registradas anteriormente.

Se trata de un sensor que puede emitir miles de pulsos de energía laser por segundo. Cuando alguno de estos pulsos choca con un objeto regresa al sensor y se registran sus coordenadas x, y, z. El sensor se puede montar en satélites, avionetas, helicópteros y, ahora, en vehículos aéreos no tripulados. El pulso es capaz de pasar por los huecos entre las hojas y las ramas para llegar hasta el suelo. Esto lo convierte en una herramienta invaluable para la investigación arqueológica, sobre todo en áreas con una cubierta vegetal densa, como la maya, la costa del Pacífico y el sureste asiático.

El producto inicial del sensor es una nube de puntos. Ésta se procesa con programas de cómputo especiales para poder diferenciar vegetación, construcciones y terreno (Figura 10). La información se filtra posteriormente para generar modelos y visualizaciones que permitan identificar rasgos culturales relevantes para el proyecto de investigación (Figura 11). Uno de los más comunes es el Modelo Digital de Terreno, en el cual quedan registradas las modificaciones culturales, como pirámides, plataformas, infraestructura para captación de agua, agrícola o para defensa, caminos, casas, etcétera. También se experimenta con métodos de visualización para enfatizar rasgos que pueden servir para análisis posteriores, tales como sombreados digitales, modelos de pendientes o el llamado *Red Relief Image Map* (Chiba *et al.* 2008) (Figura 12).

La importancia de los métodos de tratamiento de la información LiDAR radica en el hecho de que la imagen final es un modelo que refleja la historia ocupacional de la región bajo estudio, la estructura política de sus pobladores, los problemas a los que

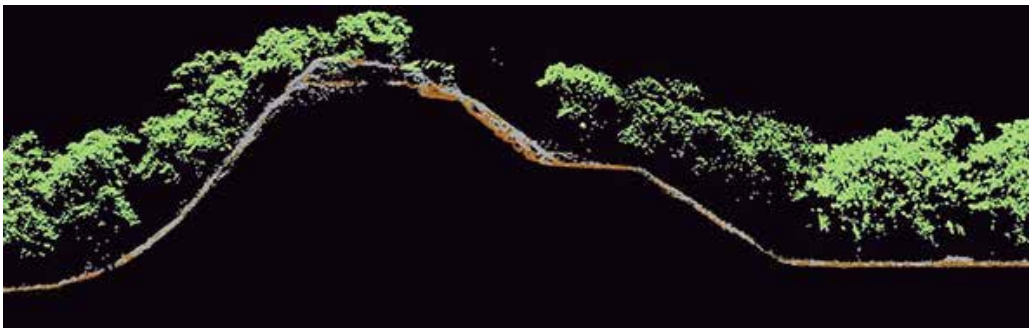


Figura 10. Perfil de nube de puntos LiDAR clasificada
(fotografía del Laboratorio de Análisis Espacial y Digital).

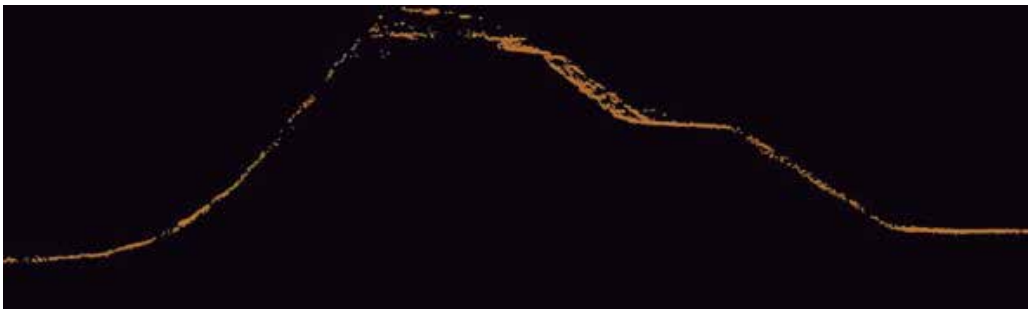


Figura 11. Perfil de nube de puntos LiDAR filtrada
(fotografía del Laboratorio de Análisis Espacial y Digital).

se enfrentaron para su subsistencia y la infraestructura para comunicación. De esta manera, la información generada por la tecnología LiDAR se puede vincular con una variedad de problemas de investigación en arqueología que pueden ser abordados en menor tiempo que con técnicas tradicionales de campo (Figura 13).

La investigación arqueológica, como hemos mostrado, se ha nutrido y se nutre de metodologías de otras ciencias, como la ingeniería y la geografía. Estos avances, además de la adquisición de un cuerpo de información más robusto, agilizan y hacen más exactos ciertos procesos de investigación a un costo relativamente bajo. Por otro lado, las innovaciones que se dieron en Mesoamérica en materia de infraestructura,

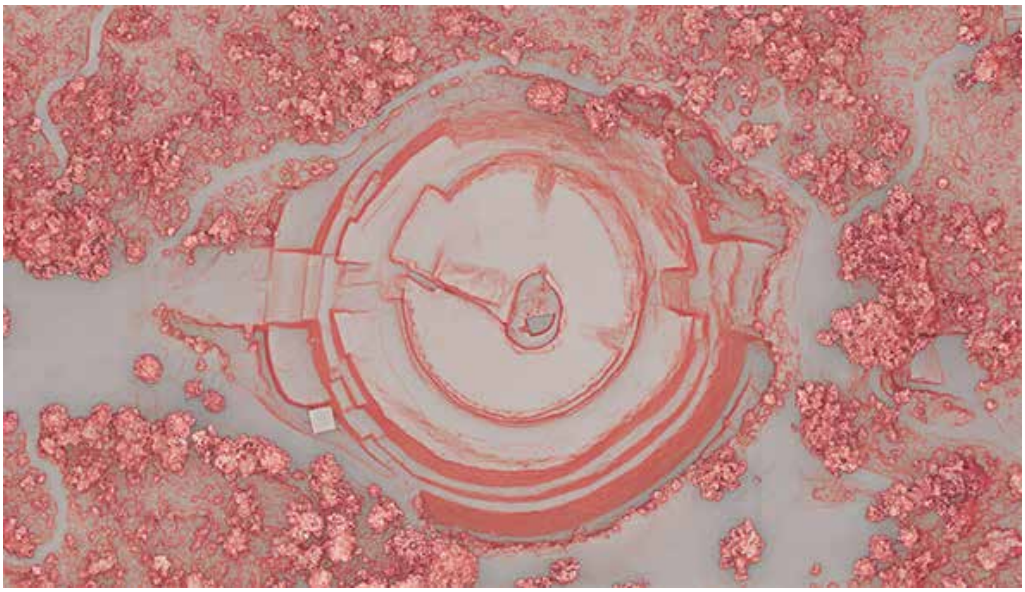


Figura 12. Red Relief Image Map de la pirámide de Cuicuilco
(fotografía del Laboratorio de Análisis Espacial y Digital).

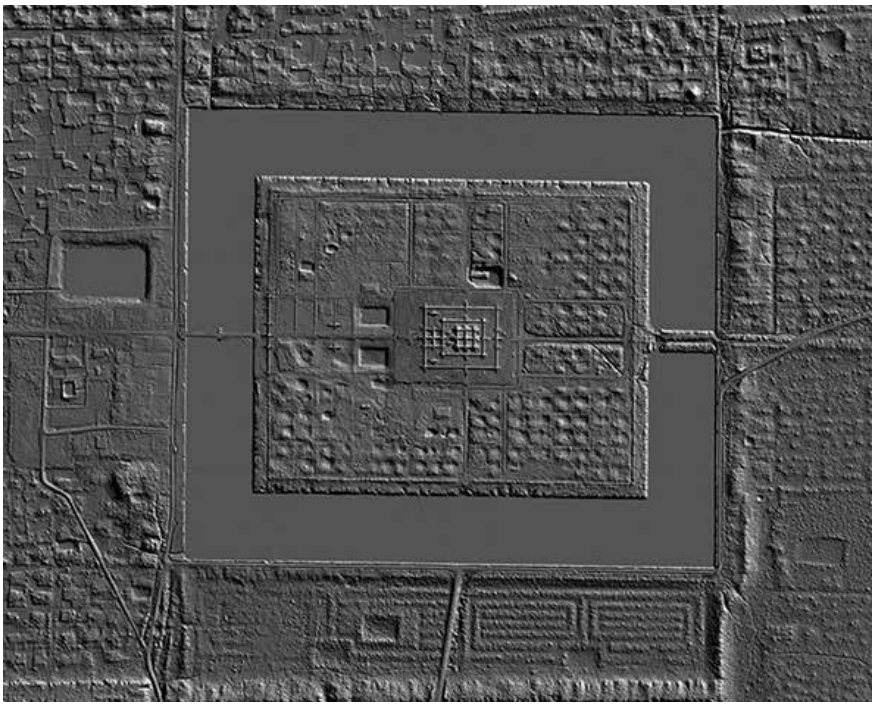


Figura 13. Modelo digital de elevación derivado de datos LiDAR del sitio arqueológico de Caracol en Belice (Chase *et al.* 2010).

muchas veces imperceptibles, se hacen más evidentes sobre el terreno; ¿cómo ha sido modificado el paisaje para aplicar técnicas agrícolas?, ¿cuáles son las modificaciones para establecer redes de comunicación entre sitios y el análisis de sus ubicaciones?, ¿cuáles son las dimensiones exactas de las ciudades antiguas y sus formas de crecimiento?, etcétera. El desarrollo de nuevas tecnologías nos hace entender y dimensionar los fenómenos sociales de mejor manera; las nuevas interpretaciones tienen un punto más de apoyo con este tipo de información y análisis, que nos acerca a la comprensión de nuestro objeto de estudio, las sociedades del pasado.

Referencias

Acosta, Guillermo, Emily McClung, Gerardo Jiménez y Víctor H. García

2018 [en línea] "El empleo de fotogrametría mediante vehículos aéreos no tripulados (VANT/dron) como herramienta de evaluación del patrimonio en riesgo: chinampas arqueológicas de Xochimilco", *Revista Española de Antropología Americana*, 47, DOI: <10.5209/REAA.61978>.

Ashmore, Wendy y Bernard Knapp

1999 "Archaeological Landscapes: Constructed, Conceptualized, Ideational" en Wendy Ashmore y Bernard Knapp (eds.), *Archaeologies of Landscape Contemporary Perspectives*, Wiley-Blackwell, Oxford: 1-30.

Canuto, Marcello A., Francisco Estrada-Belli, Thomas G. Garrison, Stephen D. Houston, Mary Jane Acuña, Milan Kováč, Damien Marken, Philippe Nondédéo, Luke Auld-Thomas, Cyril Castanet, David Chatelain, Carlos R. Chiriboga, Tomáš Drápela, Tibor Lieskovský, Alexandre Tokovinine, Antolín Velásquez, Juan C. Fernández-Díaz y Ramesh Shrestha

2018 [en línea] "Ancient lowland Maya complexity as revealed by airborne laser scanning of northern Guatemala", *Science*, 361 (6 409): eaau0137, DOI: <10.1126/science.aau0137>.

Carter, William E., Ramesh L. Shrestha y Juan C. Fernández-Díaz

2019 "Estimating ancient populations by aerial survey, *American Scientist*, 107 (1): 30-37.

Chase, Arlen F., Diane Z. Chase y John F. Weishampel

2010 "Lasers in the Jungle", *Archaeology*, 63 (4): 27-29.

Chase, Arlen F., Diane Z. Chase, Jamie J. Awe, John F. Weishampel, Gyles Iannone, Holley Moyes, Jason Yaeger y M. Kathryn Brown

2014 [en línea] "The Use of lidar in Understanding the Ancient Maya Landscape: Caracol and Western Belize", *Advances in Archaeological Practice*, 2 (3): 208-221, DOI: <10.7183/2326-3768.2.3.208>.

Chiba, Tatsuro, Shin-Ichi Kaneta y Yusuke Suzuki

2008 "Red Relief Image Map: New visualization method for three dimensional data", *The International Archives of the Photogrammetry*, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVII (B2): 1 071-1 076.

Crawford, Osbert G. S.

1928 *Wessex from the Air*, Clarendon, Oxford.

Criado Boado, Felipe

1999 *Del terreno al espacio: planteamientos y perspectivas para la arqueología del paisaje*, Grupo de Investigadores en Arqueología del Paisaje (CAPA Criterios y Convenciones en Arqueología del Paisaje, 6), Universidade de Santiago de Compostela, Galicia.

Daniels, Stephen y Denis Cosgrove

1989 "Introduction: Iconography and Landscape", en Denis Cosgrove y Stephen Daniels (eds.), *The Iconography of Landscape*, Cambridge University Press, Cambridge: 1-10.

Darvill, Timothy

1999 "The Historic Environment, Historic Landscapes, and Space-Time-Action Models in Landscape Archaeology", en Peter J. Ucko y Robert Layton (eds.), *The Archaeology and Anthropology of Landscape: Shaping your Landscape*, Routledge, Londres: 104-118.

Fernández-Díaz, Juan C., William Carter, Ramesh Shrestha y Craig Glennie

2014 [en línea] "Now You See It… Now You Don't: Understanding Airborne Mapping LiDAR Collection and Data Product Generation for Archaeological Research in Mesoamerica", *Remote Sensing*, 6 (10): 9 951-10 001, DOI: <10.3390/rs6109951>.

Millon, René

1964 "The Teotihuacan mapping project", *American Antiquity*, 29 (3).

Millon, René

1973 *Urbanization at Teotihuacan, Mexico*, vol. 1, The Teotihuacan Map, University of Texas Press, Austin.

Sanders, William T., T. Jeffrey Parson y Robert Santley

1979 *The basin of Mexico: Ecological Processes in the Evolution of Civilization*, Academic Press, Nueva York.

Tilley, Christopher

1994 *A Phenomenology of Landscape: Places, Paths and Monuments*, Berg, Providence.

Willey, R. Gordon

1953 *Prehistoric Settlement Patterns in the Viru Valley, Perú*, Smithsonian Institution (Bureau of American Etnhology, Bulletin 155), Washington.

El estudio de sitios arqueológicos desde la superficie. Innovación en técnicas geofísicas y de percepción remota

Jorge Blancas Vázquez, Luis Barba Pingarrón y Agustín Ortiz Butrón*

La base metodológica para el estudio de sitios arqueológicos establecida en el Laboratorio de Prospección Arqueológica del IIA-UNAM desde hace más de 35 años (Barba 1984, 1990) recientemente ha incorporado herramientas modernas para el análisis digital de imágenes de satélite –percepción remota–, prospección geofísica con alta resolución y con resistencia electrostática. Existe una amplia variedad de técnicas geofísicas que podrían aplicarse a distintos problemas arqueológicos; sin embargo, se debe considerar la aplicabilidad de cada método y la relación con los objetivos de la investigación. El punto de partida de muchos proyectos geoarqueológicos implica el intercambio de puntos de vista entre arqueólogos, geofísicos y otros especialistas para establecer objetivos y un adecuado diseño de la investigación.

Metodología de la prospección geofísica para estudios arqueológicos

La prospección geofísica es el conjunto de técnicas que miden sobre la superficie del terreno alguna propiedad física de los materiales del subsuelo para determinar la presencia de alteraciones o heterogeneidades. Casi todas estas innovadoras técnicas usadas en aplicaciones arqueológicas han sido adaptadas de la geofísica de exploración de gran escala y en algunos casos han sido modificadas radicalmente. Muchas se han probado y modificado para adecuarlas a la escala arqueológica; sin embargo, sólo unas pocas han tenido éxito, destacando el gradiente magnético, algunas confi-

* Laboratorio de Prospección Arqueológica, Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.

guraciones eléctricas y el georradar, que ofrecen resultados inmediatos y confiables. Adicionalmente, la percepción remota con imágenes multiespectrales es una técnica innovadora para el estudio arqueológico que promete gran desarrollo.

Al utilizar estas técnicas en la arqueología se pueden investigar áreas en menos tiempo y a menor costo que con los métodos tradicionales de excavación, además, no perturban el medio ni destruyen el contexto arqueológico. Hay que mencionar que una sola técnica no sirve para registrar las características de los elementos enterrados, por lo que es recomendable seleccionar la más adecuada para medir el contraste entre las características del suelo y las de los restos arqueológicos, o bien, hacer una combinación de técnicas de acuerdo con los objetivos de la investigación.

Las técnicas geofísicas registran indirectamente materiales con propiedades físicas que difieren de las de su entorno, y éstas pueden ser de origen natural o cultural. Con estas técnicas se pueden detectar anomalías que frecuentemente corresponden a restos culturales. Si la anomalía detectada está relacionada con una característica arqueológica o geológica, se verifica mediante otra técnica de prospección, o bien, mediante una excavación arqueológica directa.

Evolución de las técnicas

El Laboratorio de Prospección Arqueológica se fundó a principios de 1983 y, en sus inicios, apoyado por el entonces director del IIA, Jaime Litvak, se adquirió equipo científico que en su época resultó ser toda una innovación aplicada a una arqueología que, hasta entonces, se basaba en análisis de cuantificación y tipología cerámica, estudios arquitectónicos y estudios de patrón de asentamiento.

De esta forma, y a partir de una metodología deductiva para estudiar la superficie de un sitio arqueológico propuesta por Barba (1984, 1990), el laboratorio adquirió un globo tipo zepelín de 10 m de largo por 3 m de diámetro que se inflaba con helio para poder tomar fotografías aéreas de baja altitud. Cuatro personas controlaban el globo mediante cuerdas, y podía elevarse de 10 a 100 m de altura. Las fotos se tomaban mediante un control remoto que activaba el disparador de las cámaras montadas en un dispositivo giroscópico. Se podían tomar fotografías con película a color, blanco y negro e infrarrojo, así como diapositivas (Barba 1990: 11; 1993: 50; Barba y Linares 1990: 33).

Con el correr del tiempo y la disminución en tamaño y peso de las cámaras fotográficas, los globos de helio se fueron haciendo cada vez más pequeños y su manufactura pasó a ser una parte importante de las actividades del laboratorio. En tiempos modernos, los globos han dado un paso de costado y las fotografías ahora se toman con drones; las películas fotográficas han sido sustituidas por la tecnología digital (Figura 1).

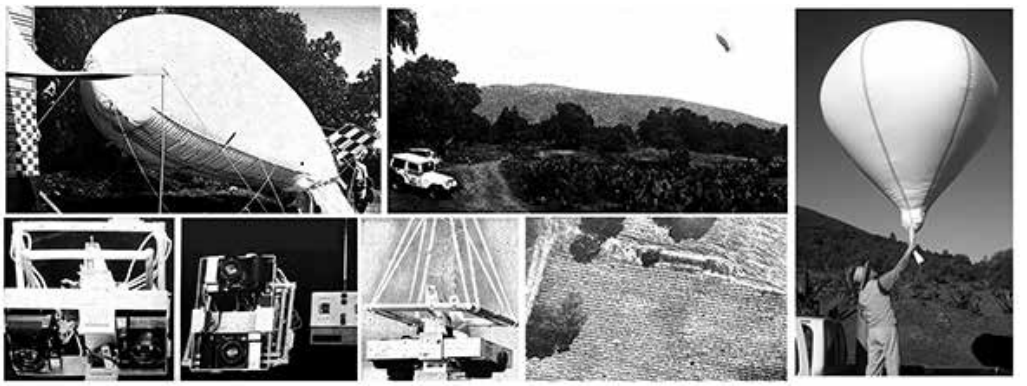


Figura 1. Fotografía aérea con globo cautivo. Zepelín, dispositivo giroscópico y control remoto, fotografía aérea con manchas claras en Teotihuacan y globo elaborado en el laboratorio (Barba 1993).

En 1981 se adquirió el primer magnetómetro portátil de campo total activado por un cinturón de baterías. El equipo contaba con una cabeza sensora de vapor de cesio que se colocaba en las intersecciones de la retícula y se obtenía una matriz de datos que era dictada a una persona que acompañaba el recorrido. Por las noches, en el campamento, tenía que dictarse nuevamente para vaciar en un mapa una matriz de datos magnéticos que, en las primeras etapas, se dibujaba a mano como mapa de isolíneas, y que poco después fue procesada en una computadora (Barba 1990: 14; 1993: 53).

Se adquirió un detector de metales marca Fisher para que removiera en un primer reconocimiento en campo todas aquellas anomalías derivadas de metales modernos y que no interfirieran con los resultados del magnetómetro (Barba 1990: 19).

También se adquirió un equipo de resistividad eléctrica diseñado por el Laboratorio de Física de la Universidad de Bradford, un *Bradphys IV,* el cual contaba con cuatro electrodos metálicos para inyectar la corriente eléctrica al subsuelo. El arreglo que se utilizaba entonces era el Wenner con 50 cm de separación entre los mismos. Para su funcionamiento se requería un operador del equipo, alguien que apuntara los resultados y de dos a cuatro operarios para la movilización de los electrodos (Barba 1990: 13; 1993: 53) (Figura 2).

Con la finalidad de conocer la profundidad de las anomalías, y para obtener muestras químicas de sondeos, se adquirieron diversos tipos de nucleadores. Uno con motor de gasolina, otro manual giratorio de 10 cm de diámetro y uno de pedal de 2.5 cm de diámetro para obtener muestras de la superficie (Barba 1990: 29; 1993: 57) (Figura 3).

Para poder transportar todos estos equipos de gran formato al campo fue necesario adquirir un vehículo tipo mudanza, con caja de 50 m^3 de volumen, que Luis Barba

Figura 2. Detector de metales, magnetómetro de cesio y equipo de resistividad eléctrica (Barba 1993).

Figura 3. Nucleadores: de motor, de pedal y manual (Barba 1993).

diseñó y construyó como laboratorio móvil. En él se podía viajar al sitio de estudio y se podían llevar los grandes equipos, contaba con una oficina con microcomputadora, monitor, *drives* e impresora para procesar los datos geofísicos, un espacio con facilidades para un laboratorio de química y almacenamiento de reactivos, además de que en la noche se podían revelar las fotografías y hacer impresiones en papel para armar mosaicos fotográficos. En su costado externo contaba con un toldo exterior bajo el cual se podían montar unas mesas para trabajar, cuantificar y pesar el material arqueológico (Barba, 1990: 30; Barba y Litvak 1990) (Figura 4).

Las microcomputadoras de aquel tiempo (*Apple II+* y *Apple IIe*) y el *software* (*Applewriter*, *Topographic Mapping*, *Multiplan*, *Superplotter*, *Sideways* y *Triple Dump*), introducidas a la arqueología por Litvak, permitían producir textos para los informes; hojas de cálculo y mapas de distribución de valores de química; distribución de materiales en superficie; relieve topográfico y anomalías magnéticas y eléctricas en el terreno (Barba *et al.* 1987: 137; Barba 1990: 31) (Figura 5).

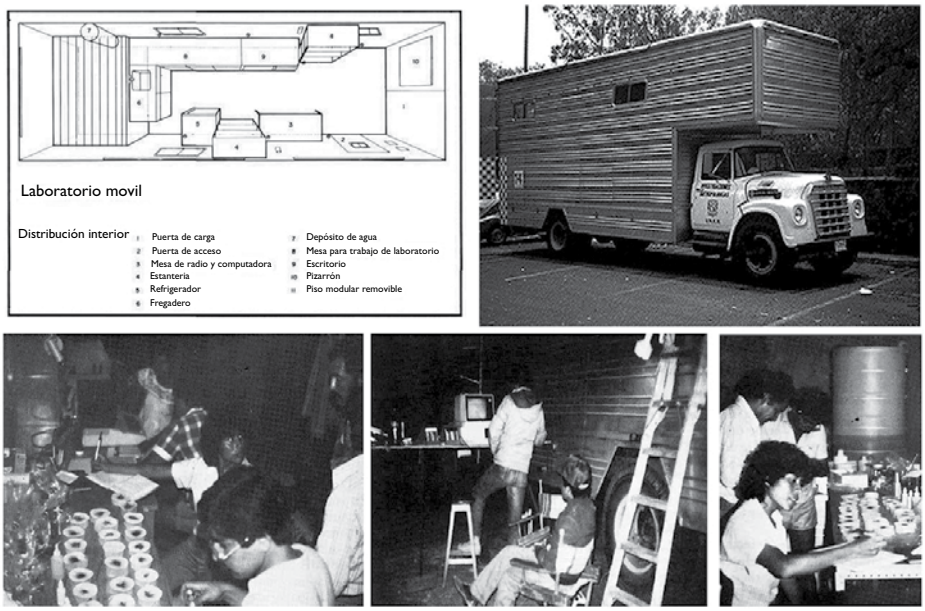


Figura 4. Laboratorio móvil y sus áreas de trabajo interiores y exteriores (Barba 1990).

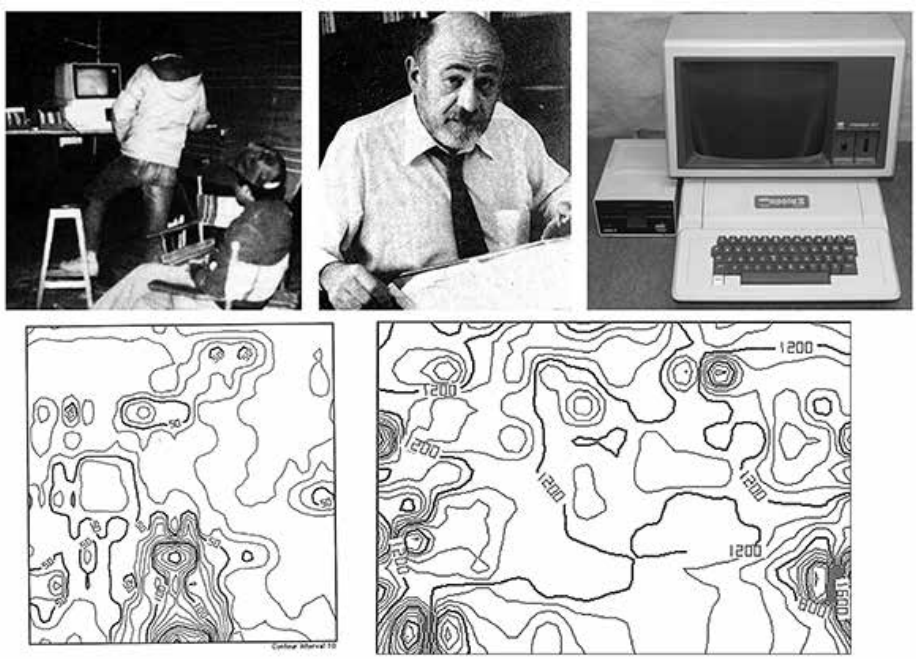


Figura 5. Microcoputadoras de campo y mapas de datos topográficos y magnéticos (Barba y Litvak 1990).

En 1997 la Brigham Young University donó al Laboratorio de Prospección Arqueológica un radar de penetración terrestre modelo *SIR SYSTEM 2,* con una antena de 300 MHz, en un intercambio por un trabajo realizado en Paso de la Amada, Chiapas, con John Clark.

La verdadera innovación en el estudio de sitios arqueológicos, desde los inicios del laboratorio, fue la aplicación ordenada de técnicas de prospección arqueológica y análisis computarizado de datos en el campo para permitir la localización de estructuras desde la superficie y la interpretación de áreas de actividad asociadas. Incluso, desde el inicio de la metodología, se vaticinó que en un futuro el empleo de estas técnicas sería una práctica común en la arqueología (Barba 1990: 10).

Con el paso del tiempo, los equipos se fueron modernizando y reduciendo su tamaño, además de que ahora pueden almacenar los datos en su memoria interna. Con ello, la metodología de estudio continúa vigente y se han venido añadiendo nuevas técnicas de reconocimiento de sitios arqueológicos desde la superficie para optimizar aún más los recursos y obtener mejores resultados para su interpretación.

Prospección con gradiente magnético

Las alteraciones magnéticas se relacionan con el contenido de pequeñas cantidades de minerales, como magnetita, ilmenita, óxidos de fierro, cobalto y níquel en el material. La magnetización de estos minerales puede ser débil o fuerte (Blancas 2012).

Para la medición del gradiente magnético se utiliza el gradiómetro, su funcionamiento es equivalente al de un magnetómetro diferencial. El espaciamiento entre los sensores es fijo y pequeño con respecto a las fuentes generadoras de campos magnéticos –por ejemplo, estructuras de roca. La diferencia de los campos dividida por la distancia entre los sensores es el gradiente asignado al punto medio del espaciamiento entre ellos (Figuras 6 y 7).

Esta técnica aprovecha la capacidad de este tipo de instrumentos para medir las pequeñas variaciones del campo magnético asociadas con estructuras arqueológicas enterradas. Los gradiómetros son particularmente eficientes para detectar zonas sometidas a calentamiento, como hornos, chimeneas y fogones; asimismo, pueden detectar muros, fosas y trincheras. Su principal ventaja es que cubren grandes extensiones de terreno en corto tiempo. Por otra parte, el procesamiento de los datos es sencillo, por lo que se pueden obtener resultados casi inmediatos una vez que termina la adquisición de los mismos.

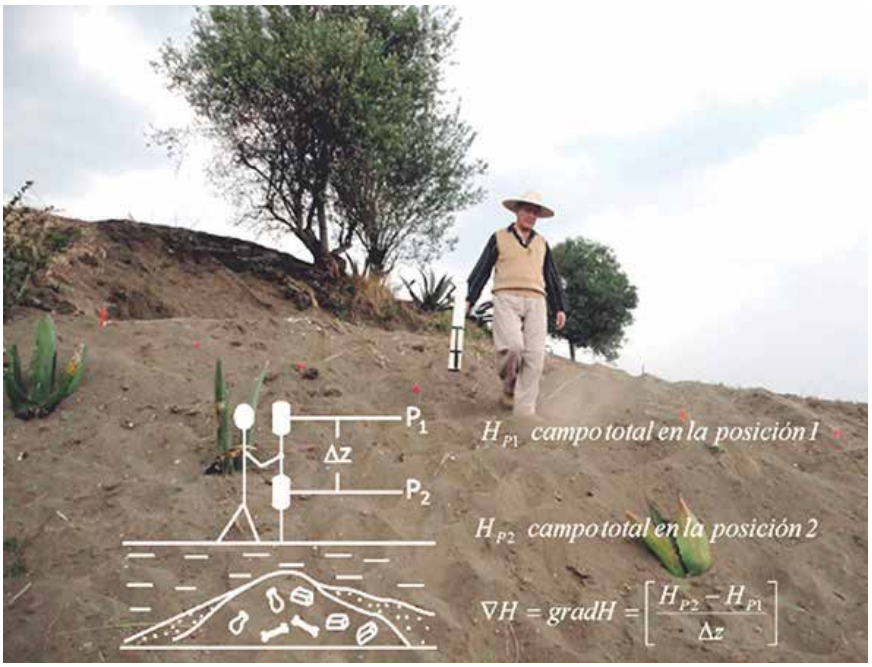


Figura 6. Obtención del gradiente de campo magnético sobre la superficie. Proyecto para la localización y recuperación de restos óseos de mamut en Santa Ana Tlacotenco (Blancas *et al.* 2015).

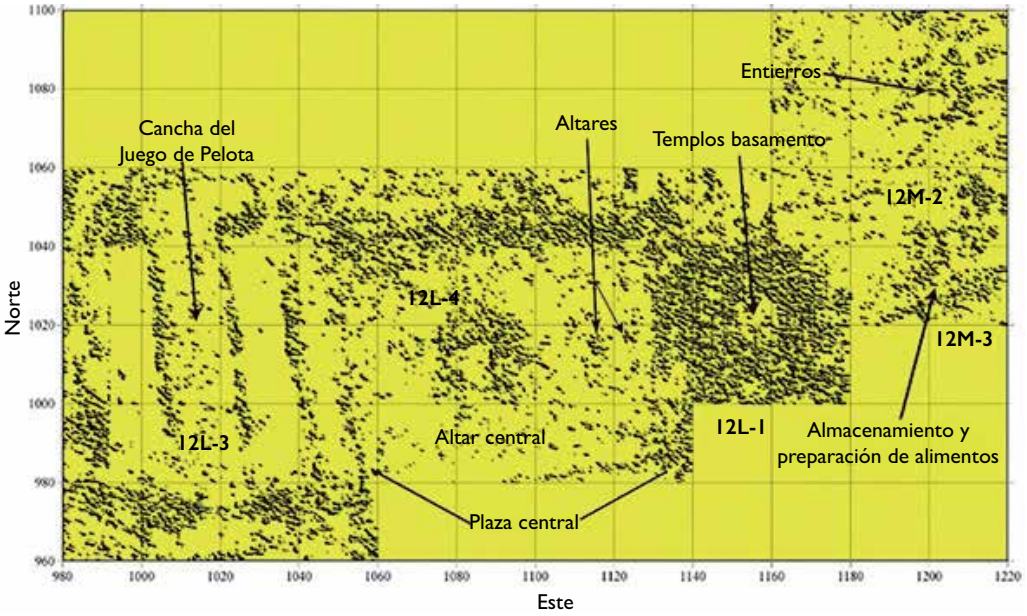


Figura 7. Mapa de gradiente magnético que muestra la arquitectura enterrada en La Laguna, Tlaxcala (Blancas 2012).

Prospección con georradar

La capacidad que tiene esta técnica para "ver" lo que hay por debajo de la superficie a distintas profundidades la hace de gran interés para la investigación arqueológica, así como para planear estrategias de excavación a partir de la información que proporciona. Como consecuencia de esto, el georradar ha sido muy usado en la investigación arqueológica en épocas recientes. En particular, en México, esta técnica se ha utilizado ampliamente durante los últimos 20 años en el Laboratorio de Prospección Arqueológica de la unam. La ventaja principal del georradar es que ofrece secciones transversales del subsuelo que, acomodadas sistemáticamente en una retícula (*grid*), aportan imágenes tridimensionales de restos enterrados. El resultado es una serie de planos a distintas profundidades llamados cortes de profundidad, similares a una tomografía del subsuelo.

El georradar o radar de penetración terrestre (*ground penetrating radar*, gpr) es una técnica geofísica activa que utiliza ondas electromagnéticas de radiofrecuencia del orden de 10 a 2 600 MHz y las dirige al subsuelo, registrando las ondas reflejadas y construyendo una imagen bidimensional de distancia contra tiempo o profundidad de los distintos objetos enterrados (Blancas 2000, 2012). Esta técnica es particularmente útil para detectar construcciones de roca y, en menor medida, las de adobe; también cuando se requiere conocer la profundidad de las estructuras constructivas. El georradar es más eficiente cuando hay buen contraste dieléctrico entre el objeto de interés y su entorno (Figura 8).

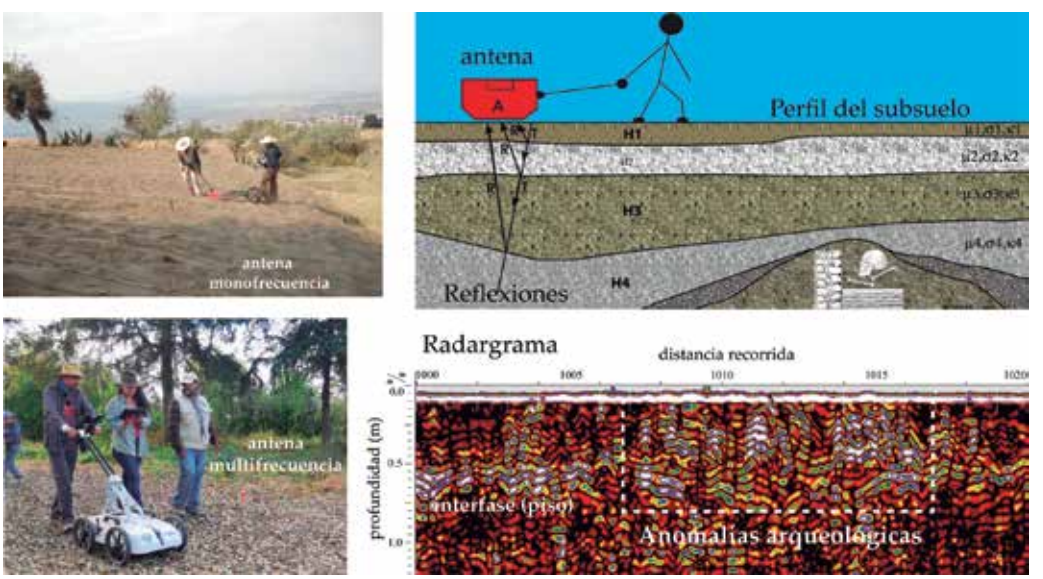


Figura 8. Levantamiento con georradar y radargrama interpretado geoarqueológicamente. Proyecto para la localización y recuperación de restos óseos de mamut en Santa Ana Tlacotenco (Blancas *et al.* 2015).

Prospección eléctrica

Este método se basa en la medición de la resistencia que ofrece el terreno al flujo de corrientes eléctricas que se introducen al subsuelo. Entre las técnicas geofísicas, ésta se considera como activa, debido a que emplea una fuente eléctrica artificial para inyectar corriente al terreno. Generalmente se registran lecturas de alta resistencia en lugares con cimientos y muros de roca, pero en zanjas con sedimentos más húmedos que su entorno las lecturas son de baja resistencia. Al registrar zonas con alta y baja resistividad es posible identificar, por ejemplo, la disposición y tamaño de estructuras constructivas o los límites de una zanja.

Un arreglo empleado principalmente para estudios arqueológicos superficiales es el polo-polo o gemelos (*twin-probe*) –innovado y desarrollado en la Universidad de Bradford, Inglaterra. Tiene muchas ventajas con respecto a otros debido a su simplicidad, portabilidad y resolución espacial, ofrece respuestas con un simple pico en vez de múltiples respuestas complicadas y difíciles de interpretar (Figura 9). El resultado es una configuración de valores de resistividad aparente en un mapa a una profundidad relativamente constante (0.5, 1, 2 metros) (Figura 10).

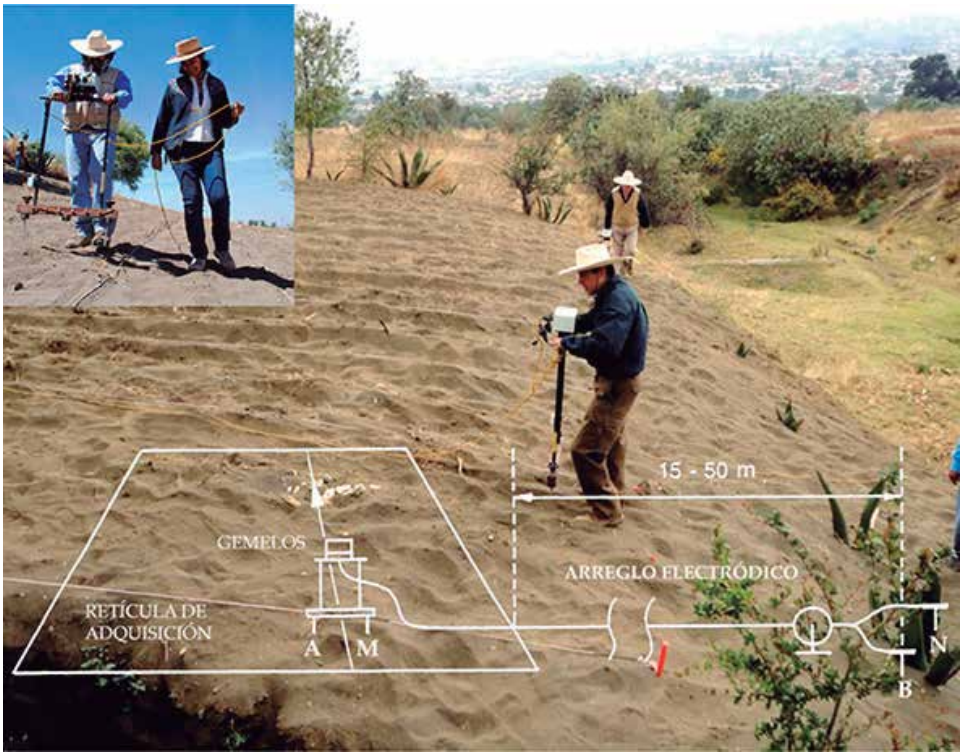


Figura 9. Levantamiento de datos eléctricos con arreglo polo-polo. Proyecto para la localización y recuperación de restos óseos de mamut en Santa Ana Tlacotenco (Blancas *et al.* 2015).

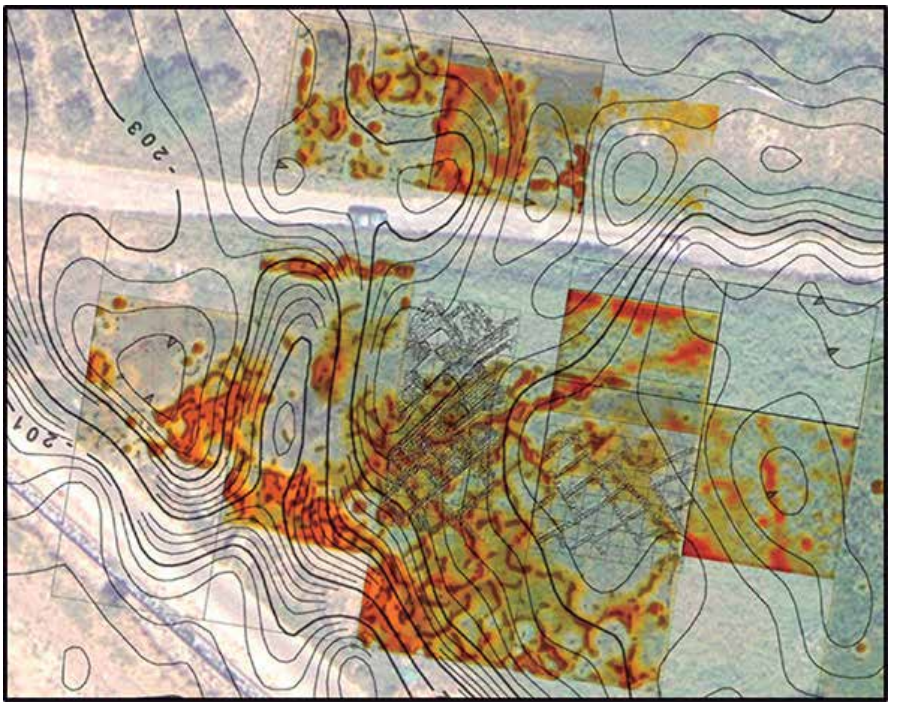


Figura 10. Mapa eléctrico de un asentamiento enterrado con elementos constructivos de piedra basáltica y en sedimentos. Proyecto Magdala, Galilea, Israel (Barba *et al.* 2013).

Tomografía eléctrica

Otra modalidad innovadora para obtener la distribución de la resistividad en el subsuelo es la tomografía eléctrica, que es una técnica multielectródica cuya geometría básica es análoga a los dispositivos de resistividad convencionales. Con esta técnica se realizan de forma automatizada gran cantidad de mediciones en horizontal y vertical, obteniéndose secciones 2D de gran resolución e imágenes 3D de la resistividad eléctrica del subsuelo.

Se utiliza para localizar variaciones de resistividad lateral y vertical a lo largo de un perfil. El barrido lateral resulta óptimo cuando lo que se busca son objetos y rasgos particulares que contrasten con la resistividad del material que los rodea. Este procedimiento resulta ideal para localizar vestigios arqueológicos, diques, fracturas y también restos paleontológicos. Los datos obtenidos mediante la resistividad aparente en cada medición se grafican en lo que se conoce como una pseudosección. Posteriormente, con programas de inversión de datos se puede obtener la sección eléctrica con resistividades y profundidades verdaderas. Las secciones de isorresistividad representan, en escala de color, la distribución de las resistividades en el subsuelo (figura 11). A partir de los perfiles de isorresistividad, además de anomalías arqueológicas

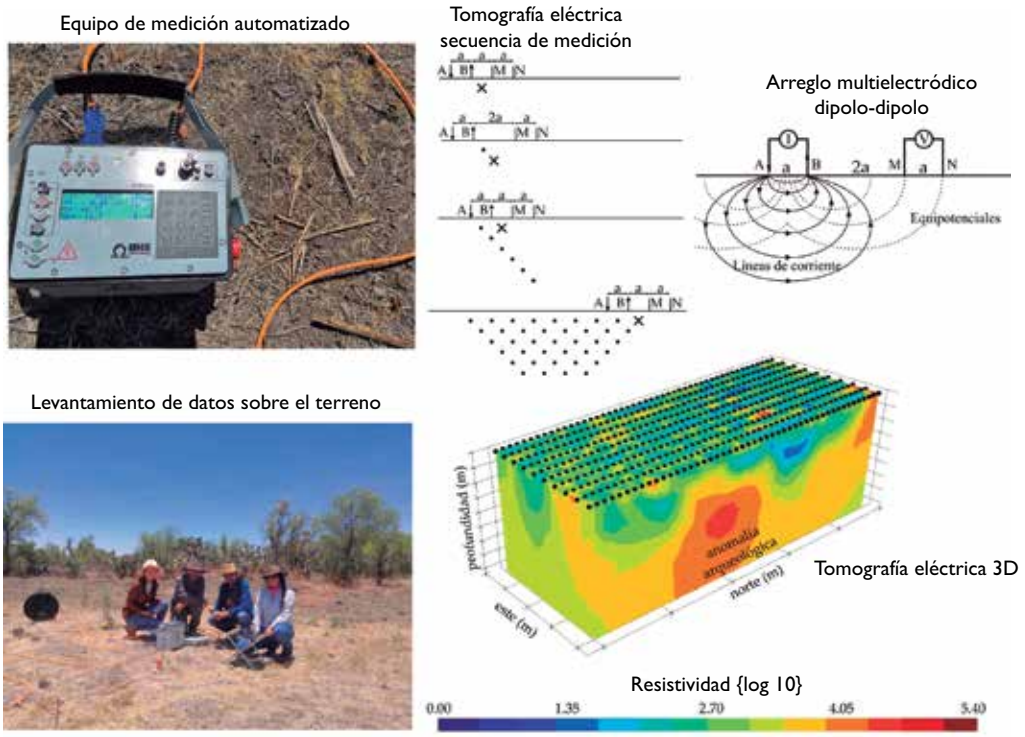


Figura 11. Levantamiento de datos y perfiles de isorresistividad obtenidos mediante la tomografía eléctrica. Proyecto para la localización y recuperación de restos óseos de mamut en Santa Ana Tlacotenco (Blancas *et al.* 2015).

y paleontológicas, también se interpreta material diverso asociado con horizontes de suelo y rocas.

Resistencia electrostática

Aunque las técnicas eléctricas tradicionales, como polo-polo o la tomografía eléctrica, han funcionado bien en el Laboratorio de Prospección Arqueológica, existe otra tecnología innovadora utilizada para terrenos de alta resistividad –pisos, caminos pavimentados, suelos arenosos, geología y suelos resistivos– llamada de resistencia electrostática, la cual consiste en un medidor de resistividad por acoplamiento capacitivo, que mide las propiedades eléctricas de las rocas y suelos sin el uso de electrodos galvánicos, utilizados en levantamientos tradicionales de resistividad. Una persona o un vehículo ligero todo terreno arrastra un cable coaxial con arreglo simple de secciones con transmisor y receptor a lo largo del terreno. De esta forma, la adquisición de datos es más rápida que con los sistemas de resistividad de corriente directa (CD) convencionales (Figura 12).

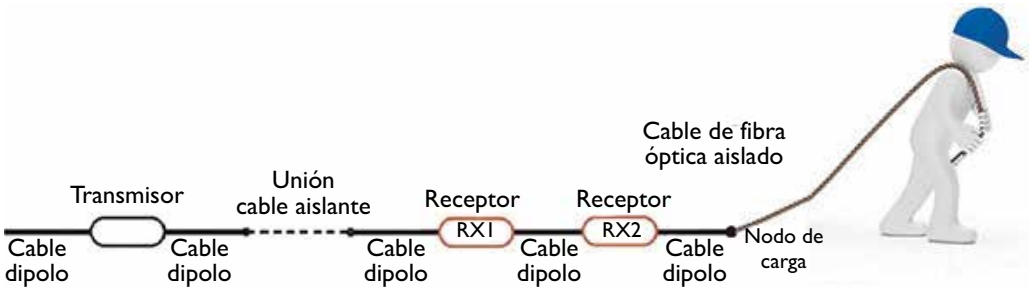


Figura 12. Operación del equipo de resistencia electrostática (Geometrics 2012).

Para estudios de arqueología urbana y en terrenos muy resistivos es más adecuado el levantamiento de datos con equipo de resistencia electrostática, ya que no requiere clavar electrodos en el terreno, y no es necesario hacer contacto galvánico con los suelos y sedimentos conductores.

Percepción remota

La percepción remota o teledetección es un método para la adquisición, procesamiento e interpretación de imágenes digitales adquiridas en plataformas satelitales, aviones, drones, y puede tener importantes aplicaciones en el campo de la arqueología; sin embargo, su uso ha sido muy limitado. Esto se debe a que hace algunos años no se contaba con imágenes de resolución espacial-espectral suficiente para este tipo de aplicaciones.

Actualmente, la percepción remota es una técnica innovadora para la investigación arqueológica y presenta muchas ventajas porque crea imágenes comerciales de alta resolución espectral, espacial, radiométrica y temporal, con las cuales se tiene una aproximación sinóptica al estudio de un sitio arqueológico.

El uso de esta tecnología para la arqueología ha ido creciendo a la par del desarrollo de los nuevos sensores; esto ha abierto nuevas posibilidades para las investigaciones arqueológicas. Las ventajas son muchas, entre ellas podemos mencionar la capacidad de obtener información multiespectral y, junto con una alta resolución espacial, es posible detectar formas y estructuras sobre la superficie. También puede proporcionar información indirecta asociada con patrones espectrales, espaciales y texturales del suelo y la vegetación que estén relacionados con modificaciones del paisaje y con estructuras bajo la superficie. Esto generalmente se representa por medio de composiciones de falso color, gráficas de las firmas espectrales o por la clasificación de la información obtenida.

La percepción remota para la investigación arqueológica y el patrimonio cultural dispone hoy en día de imágenes de plataformas satelitales de alta resolución que son capaces de producir imágenes georreferenciadas de alta resolución con información

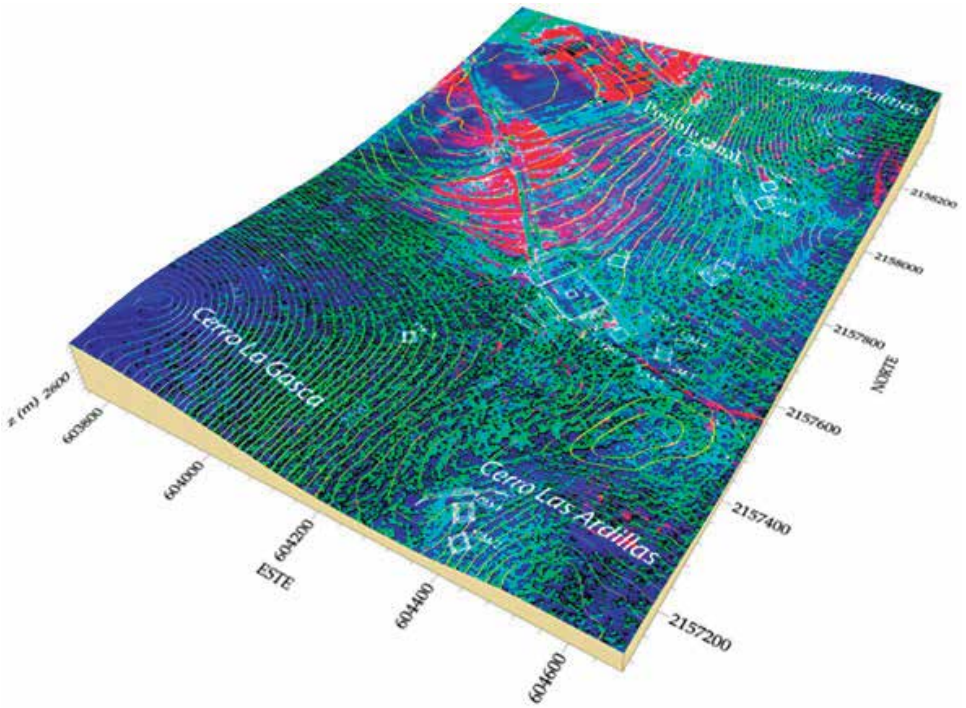


Figura 13. Superposición de modelo digital del terreno (MDT) e imagen de satélite procesada en falso color que evidencia un asentamiento del Formativo. Proyecto La Laguna (Blancas 2012).

espectral y modelos digitales de elevación (MDT) (Blancas 2012). Los satélites comerciales proporcionan la mayor resolución espacial en imágenes con sensores multiespectrales y pancromáticos, con resoluciones de 2.4-4 metros, y de 0.4-1 metro, respectivamente.

El contenido espectral de los datos, junto con una alta resolución espacial, convierte las imágenes de satélite en una fuente valiosa de información para la investigación arqueológica que abarca desde la arqueología del paisaje hasta los detalles más pequeños, como la detección de estructuras sobre la superficie. El propósito de la percepción remota en las investigaciones arqueológicas es extraer pequeñas diferencias en las reflectancias, en la textura o en las formas del suelo y en las plantas, relacionadas con material arqueológico encima o bajo la superficie y con las modificaciones que el hombre hizo al paisaje en el pasado (Figura 13).

Conclusiones

Como se vio, desde las décadas de 1960 y 1970 se hicieron algunos experimentos en México, pero a partir de los años ochenta se estableció un laboratorio con personal de tiempo completo dedicado al desarrollo y aplicación de estas técnicas en la ar-

queología, lo que marca una gran diferencia. Esto permitió contar con los recursos humanos dedicados a aplicar la metodología de trabajo e ir incorporando técnicas innovadoras conforme el desarrollo tecnológico fue avanzando. Casi todas las técnicas se han adaptado de la geofísica de exploración a gran escala y, en algunos casos, se modificaron radicalmente para la arqueología. Muchas de estas técnicas han sido probadas; sin embargo, sólo unas pocas han tenido éxito en los estudios arqueológicos, como el gradiente magnético, la susceptibilidad magnética, algunas configuraciones eléctricas y el georradar, que ofrecen resultados inmediatos y confiables.

La metodología de trabajo establecida en el Laboratorio de Prospección Arqueológica permitió la aplicación ordenada y sistemática de varias técnicas para tratar de recuperar, desde la superficie de los sitios arqueológicos, la mayor cantidad de información disponible.

Durante estos 40 años la cantidad de registros ha mejorado sustancialmente debido a la aparición de las computadoras, que ha posibilitado el tránsito de una adquisición manual de muy baja densidad a una adquisición automatizada con gran cantidad de registros por metro cuadrado. Esto ha permitido una mejora sustancial en la calidad de las imágenes producidas, así como un menor tiempo de visualización, lo que facilita la toma de decisiones y la mejora en la estrategia durante el trabajo de campo.

El Laboratorio de Prospección Arqueológica fue de los primeros en el mundo que operó un laboratorio móvil que llevó todos los recursos y herramientas científicas disponibles a los sitios arqueológicos en México para estudiarlos desde la superficie. También innovó en la adquisición de imágenes desde el aire con el uso de globos cautivos para fotografiar sitios arqueológicos con cámaras operadas a control remoto. Otra característica que ha distinguido a nuestro laboratorio es la aplicación combinada de técnicas geofísicas y químicas, de manera interdisciplinaria, en un mismo proyecto.

La innovación de esta metodología de investigación radica en la combinación de técnicas para informar, de una manera más certera, acerca de las características de los elementos enterrados y del suelo. Generalmente se requiere encontrar el nivel óptimo entre la resolución requerida, la profundidad de investigación, los costos y el tiempo de adquisición de la información.

La metodología actual incorpora herramientas modernas para el análisis digital de imágenes de satélite –percepción remota–, fotografía aérea con VANT (vehículos aéreos no tripulados), topografía de precisión y alta densidad con GPS diferencial, tomografía eléctrica de alta resolución. Adicionalmente, el Laboratorio de Prospección Arqueológica ha incorporado la micromorfología de muestras de suelo y cerámica mediante la microscopía con láminas delgadas y las pruebas analíticas para conocer el contenido elemental y mineralógico con flourescencia y difracción de rayos X, además de la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier para determinar el origen geogénico o cultural de los materiales.

Referencias

Barba, Luis

1984 "The ordered application of geophysical, chemical and sedimentological techniques for the study of archaeological sites: The case of San José Ixtapa, Mexico", tesis, Departamento de Geología, Universidad de Georgia, Athens.

Barba, Luis

1990 *Radiografía de un sitio arqueológico*, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Barba, Luis

1993 "Estudios geofísicos y elección del área", en Linda Manzanilla (ed.), *Anatomía de un conjunto residencial teotihuacano en Oztoyahualco*, I. Las excavaciones, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México: 47-74.

Barba, Luis (ed.)

2015 *Estudios interdisciplinarios sobre un mamut y su contexto*, Red de Ciencias Aplicadas a la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México.

Barba, Luis y Eliseo Linares

1990 "La fotografía aérea desde globo en Teotihuacan", *Ciencia y Desarrollo*, XVI (93): 33-39.

Barba, Luis y Jaime Litvak

1990 "Experiencias con la unidad móvil del Laboratorio de Prospección Arqueológica", *Antropológicas*, 5: 85-93.

Barba, Luis, Jorge Blancas y Agustín Ortiz

2013 "La aplicación de técnicas de prospección arqueológica en Magdala, Israel, parte 4 técnicas arqueológicas y análisis", *El Pensador, El proyecto arqueológico Magdala, interpretaciones preliminares bajo una perspectiva interdisciplinaria*, 5 (1): 96-105.

Barba, Luis, Miguel Mireles y Guillermo Pérez

1987 "El uso de microcomputadoras en proyectos de campo", *Ciencia y Desarrollo*, XIII (73): 137-143.

Blancas, Jorge

2000 "Principios y aplicaciones del método de radar de penetración terrestre (GPR)", tesis, División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Departamento de Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Blancas, Jorge

2012 "Percepción remota y técnicas geofísicas de prospección para el estudio de un asentamiento del Formativo en La Laguna Tlaxcala, México", tesis, Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Blancas, Jorge, Luis Barba y Agustín Ortiz

2015 "Estudios geofísicos de un mamut encontrado en contexto volcánico", en Luis Barba (ed.), *Estudios interdisciplinarios sobre un mamut y su contexto*, Red de Ciencias Aplicadas a la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México: 29-49.

Geometrics

2012 [en línea] "Ohm Mapper", Geometrics, disponible en: <http://www.geometrics.com/geometrics-products/geometrics-electro-magnetic-products/ohm-mapper/>.

Los medios audiovisuales como recurso innovador para la investigación antropológica y el registro etnográfico en el trabajo de campo

Mario Alberto Castillo Hernández y Alejandro López Hernández*

En el Laboratorio de Antropología Visual del IIA-UNAM se generan documentales antropológicos a partir de los proyectos de investigación. Para ello debemos considerar algunas contribuciones tanto de la antropología como del cine, con un sentido ético para estudiar al hombre y su diversidad cultural (figura 1).

Desde esta perspectiva, los medios audiovisuales se juzgan como un recurso innovador, porque reúnen el lenguaje del cine, la fotografía, el arte con la búsqueda de material visual en los archivos fotográficos o códices prehispánicos, el trabajo de campo y el registro etnográfico para potenciar la investigación antropológica. El objetivo del Laboratorio de Antropología Visual es fortalecer los distintos campos del conocimiento antropológico e incorporar las aportaciones del estudio de la imagen a la construcción del documental, al mismo tiempo que se explican los fenómenos culturales del presente y del pasado. La antropología visual es útil en: el estudio de la diversidad ecológica y cultural, de sus problemas y conflictos; de los procesos de formación de identidades que existen en las poblaciones humanas; de los usos y costumbres y del conocimiento tradicional; de los fenómenos de migración; de la manera en la que los individuos se comunican dentro de sus poblaciones; de las evidencias dejadas por sus antepasados remotos y su interpretación, y de muchos temas más.

Así, la imagen puede ser un dato de la cultura y un modo de entender y explicar fenómenos sociales en una investigación. El análisis de lo audiovisual constituye un

* Laboratorio de Antropología Visual, Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.

Figura 1. Mercado de Santiago Juxtlahuaca, Oaxaca. Mujer tejedora, cultura triqui (fotografía de Alejandro López Hernández).

documento etnográfico portador de información sobre la cultura y acerca de la mirada del "otro". Algunas de las interrogantes que nos planteamos surgen de las siguientes preguntas: ¿cómo miramos? y ¿cómo interpretamos lo que miramos? Ciertamente, el antropólogo como investigador se acerca al "otro", culturalmente diferente, y se pregunta qué mirar y qué es lo que quiere mostrar. Son cuestiones iniciales de orden ético-estético sobre la forma de percibir "al otro" y "la otra realidad" cultural.

Por todo lo anterior, el documental se convierte en un testimonio y también es una manera accesible de llegar, por medio de formatos electrónicos y redes sociales, a todo el público para contar lo que ocurre en una cultura. Cuando se conjuntan todos estos recursos, se incorporan distintos niveles de análisis para interpretar una realidad particular. En el laboratorio nos proponemos delimitar una perspectiva de proyectos individuales y colectivos que incorporen las aportaciones de los distintos campos de la antropología: la antropología social, la antropología física, la lingüística y la arqueología. Para ello, destacamos la importancia de considerar la modalidad participativa y colaborativa en la realización del documental como metodología de trabajo, la cual supone el desarrollo de estrategias que favorezcan la intervención y el aporte de los sujetos involucrados en las prácticas de registro. Esto es así porque los documentales constituyen "un lugar" de encuentro entre realizadores e integrantes de la comunidad. Es un medio propicio para el intercambio de conocimientos, el cruce de miradas en la relación sujeto-objeto-realizador.

La antropología visual junto con la etnografía y el cine son más que una técnica de recolección de datos para la descripción de las formas de vida de un grupo humano; presupone un primer acercamiento del investigador solo. El registro visual y entrevistas se debe hacer en equipo, durante un año o más, de manera que se pueda llegar a una comprensión "desde dentro" de la cultura (figura 2).

La presencia de los medios de comunicación masiva, predominantemente audiovisuales –la fotografía, el cine y la televisión–, ha cambiado la manera de pensar y mirar a los seres humanos. Aquellos mundos que se descubrían e imaginaban en las monografías, en los dibujos y en las páginas de los libros, ahora tienen referentes concretos. Desde la comodidad de la casa, de una sala cinematográfica o de un monitor de computadora, podemos observar el comportamiento de pueblos muy distantes o cercanos a nosotros. Para la antropología, los medios de producción de imágenes se han convertido en verdaderas herramientas para la observación de fenómenos culturales, porque permiten la generación y organización de archivos y documentos perdurables que pueden servir para el conocimiento y análisis posterior al trabajo de campo. También por la posibilidad de difundir con estos medios el conocimiento. Las imágenes son productos culturales que, como tales, se deben estudiar para comprender el comportamiento humano. Una mayor comprensión de la teoría de la imagen beneficiaría a los antropólogos que emprendieran la experiencia de registrar sus estudios con las herramientas audiovisuales; asimismo, el desarrollo tecnológico sugiere el acercamiento transdisciplinario como un complemento sumamente enriquecedor que gravita en torno a la antropología visual.

Figura 2. Mercado de los jueves de Santiago Juxtlahuaca, Oaxaca. Mujeres con sus trajes tradicionales de la cultura triqui (fotografía de Alejandro López Hernández).

Laboratorio de Antropología Visual

Tiene como objetivo desarrollar proyectos a corto, mediano y largo plazo, en diferentes niveles y etapas: a corto plazo, elaborar material para exposiciones fotográficas y organizar actividades sobre temas que hacen referencia a la antropología visual; a mediano plazo, desarrollar proyectos de investigación de narrativa visual y, a largo plazo, analizar y catalogar el material de video y fotográfico para poner a disposición de los usuarios en una base de datos en el IIA. Un ejemplo de producto a mediano plazo es el documental etnográfico sobre la miel de la abeja melipona. Esta abeja es endémica de México y existe desde épocas muy antiguas; se tiene registro de su uso en época prehispánica en el área maya.

¿Cómo se realizó?

Para llevar a cabo este documental fue necesario viajar muchas veces a la región de Cuetzalan, Puebla, a las poblaciones nahuas y totonacas para hacer trabajo de campo y contactar a los pobladores que se dedican a la meliponicultura. Durante más de tres años registramos visualmente cómo la gente de esta población obtenía la miel de unas ollitas embrocadas. Con la información recabada descubrimos que esta miel es muy benéfica para tratar muchas enfermedades infecciosas de la piel y de los ojos, ya que contiene una gran diversidad de polen y néctar de flores medicinales

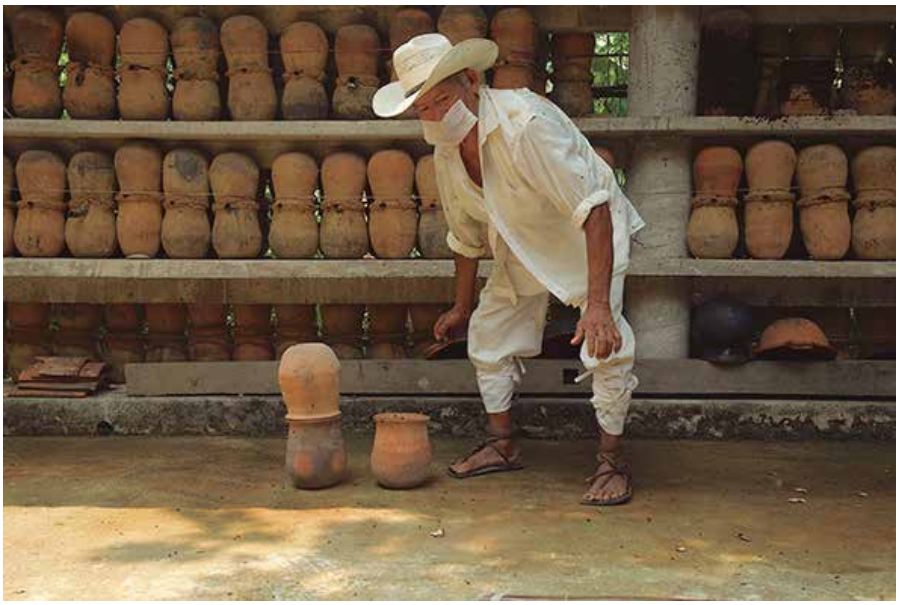


Figura 3. Apicultor de la comunidad de Xiloxochico, Puebla (fotografía de Alejandro López Hernández).

de la región. Su apariencia es líquida, de color amarillo y su sabor muy dulce y delicioso. También hemos encontrado que esta especie es muy importante para el ecosistema, ya que poliniza y favorece la fertilización y la formación de frutos y semillas; de ello depende parte de la producción alimenticia y la biodiversidad de esta región. Dicho documental innovó al ser complementado con una obra escrita producto de un proyecto de investigación, cuyo objetivo fue mostrar el significado cultural a partir de la visión de los nahuas y destacar la importancia del uso de la miel en distintos productos alimenticios nutricionales y medicinales para el consumo humano (Castillo 2020) (figura 3).

En el laboratorio somos responsables al usar las imágenes que tomamos de las poblaciones indígenas, ya que una imagen fuera del discurso o contexto puede acarrear problemas tanto a la institución como a las personas que aparecen en ellas. Por ello, antes de grabar o realizar tomas fotográficas, comentamos a los pobladores sobre la importancia de su participación en la producción de la documentación visual.

Referencias

Ardèvol, Elisenda

1997 "Representación y cine etnográfico", *Quaderns de l'Intitut Català d'Antropologia*, 10: 125-168.

Ardèvol, Elisenda y Luis Pérez-Tolón (eds.)

1995 *Imagen y cultura; perspectivas del cine etnográfico*, Diputación Provincial de Granada (Biblioteca de Etnología, 3), Granada.

Barnouw, Erik

1998 *El documental. Historia y estilos*, Gedisa, Barcelona.

Castillo H., Mario

2020 *Estudio transdisciplinario de meliponicultura en la región de Cuetzalan, Puebla: análisis etnocientífico, etnoarqueológico y etnobiológico de la producción de miel virgen*, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Nichols, Bill

1997 *La representación de la realidad. Cuestiones y conceptos sobre el documental*, Paidós, Barcelona.

Prelorán, Jorge

2006 *El cine etnobiográfico*, Catálogos-Universidad del Cine, Buenos Aires.

Consideraciones finales

El objetivo de esta publicación es acercar al lector a la temática de la innovación en Mesoamérica, con información dispuesta de una manera ordenada y lógica en tres secciones que exponen innovaciones bioculturales, así como el desarrollo de metodologías y técnicas de distintas ciencias aplicadas a la antropología para el estudio de las poblaciones –antiguas y actuales– de manera integral.

Los pueblos mesoamericanos tuvieron que realizar y adaptar muchas y variadas innovaciones a lo largo del tiempo para obtener la mayor parte de las cosas necesarias para vivir, desde los cazadores recolectores nómadas que vivieron en condiciones difíciles e iniciaron la domesticación de las plantas y animales para su subsistencia, lo cual repercutió en su sedentarización, hasta el desarrollo de grandes Estados que controlaron el comercio, la guerra, el tributo y el intercambio en gran parte de lo que hoy es el territorio nacional.

Las primeras sociedades agrícolas lograron asegurar su alimentación con la domesticación de plantas y animales, como maíz, calabaza, frijol, chile, el perro y el guajolote, entre otros. Posteriormente, mediante transformaciones graduales, lograron intensificar sus cultivos con innovaciones, como el desarrollo de sistemas de irrigación que aseguraron y controlaron el agua necesaria, lo que les permitió transformar su medio ambiente para obtener alimentos con mayor eficiencia.

Otro gran avance fue la forma de preparar los alimentos para hacerlos más nutritivos, tal fue el caso de la nixtamalización del maíz. De igual manera, la manufactura de formas cerámicas representó un adelanto tecnológico significativo frente a las cestas que se usaron inicialmente para cargar y almacenar alimentos.

La alfarería proporcionó una manera más eficiente de procesar la comida, ya que al permitir colocarlas directamente sobre el fuego se lograba una cocción más homogénea que facilitaba la conservación de los alimentos y su transporte. Esto repercutió, indudablemente, en una mejora en la forma de vida de las poblaciones antiguas.

Una vez que obtuvieron la seguridad alimentaria alcanzaron importantes avances en otras áreas, como la religión, la arquitectura, el arte –escultura, pintura, música– y el desarrollo de ciencias, como la astronomía, la filosofía y las matemáticas.

Los diversos grupos humanos, con un mayor o menor contacto entre ellos, establecieron relaciones de parentesco y comercio, lo que les permitió asimilar las innovaciones que se desarrollaron en las diferentes áreas geográficas donde vivían –mejorándolas, adaptándolas y modificándolas. Crearon un sistema de creencias y tradiciones que compartían y que se generalizaron en toda esta gran área cultural a lo largo del tiempo, como el juego de pelota, el calendario, etcétera, conservando sus rasgos particulares hasta lograr que las diferentes culturas mesoamericanas compartieran una misma cosmovisión, divergente en los detalles, pero similar en sus grandes rasgos con un núcleo duro, resistente al cambio a lo largo del tiempo.

A partir del siglo XX se han desarrollado innovaciones científicas que han permitido estudiar las antiguas culturas mesoamericanas de manera integral gracias a los estudios interdisciplinarios. A lo largo de la lectura se ha podido observar cómo la metodología de la antropología, y de la arqueología en particular, se ha apoyado en una serie de técnicas de otras disciplinas científicas para poder analizar los restos materiales con mayor exactitud, con lo que se logra localizar sitios, ubicarlos en el tiempo, identificar restos de animales y plantas, interpretar sus actividades, conocer el origen étnico de estos pobladores, sus enfermedades, ciclos de vida, así como comparar las tradiciones actuales, a partir de estudios etnográficos, con los restos arqueológicos para entender su modo de vida.

Judith Zurita Noguera, Agustín Ortiz Butrón y Diana Martínez Yrízar

LA INNOVACIÓN EN EL MÉXICO PREHISPÁNICO:
MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA SU ESTUDIO

Editado por el Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM, se terminó de imprimir en abril de 2023, en los talleres de XXX. La corrección estuvo a cargo de Adriana Incháustegui, Ana García y Marisol Ramos. Sonia Wendy Chávez Nolasco hizo la composición en tipos Adobe Garamond 14/14, 12/14, 11/14, 10/14, 10/12. Apoyo Editorial de Daniela Muñoz. El cuidado de la edición estuvo a cargo de Martha González Serrano. La edición impresa consta de 250 ejemplares en papel bond de 90 g.